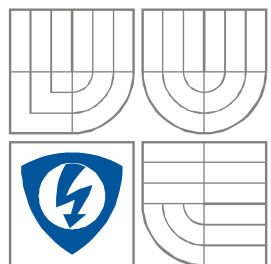




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## Řídící jednotka pro aeroponický pěstební systém

Control unit for aeroponic growing system

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Vrabec

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Klozar

BRNO, 2013



## **ABSTRAKT**

Práce popisuje historii pěstování rostlin bez půdního substrátu, tedy hydroponii a její následný vývoj v aeroponii. Práce nastiňuje návrh celého aeroponického pěstebního systému včetně řídicí jednotky, u které je kladen důraz především na řízení zavlažovacího cyklu, který je pro rostliny životně důležitý. Řídicí jednotka dále obstarává řízení světelné periody, teploty a proudění vzduchu v systému a také nastiňuje možnost regulace pH živného roztoku. Řídicí jednotka také zaznamenává veškeré údaje pro sledování a vyhodnocení časových změn v systému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Aeroponie, Hydroponie, Bubbler, NFT, TAG, pH, 1-wire, ATmega16, PWM

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the history of a method of plants cultivation without the original substrate. The method is hydroponics and its subsequent development is called aeroponics. This work outlines the design of the whole aeroponic system including a control unit. The control unit has been designed to control the injection of nutrient solution, which is essential to the life of plants. Further, the control unit performs the controle of lighting period, temperature, air flow and also regulation of nutrient solution pH. The control unit also keeps records of all data necessary for the monitoring process and for the evaluation of time differencies in the system.

## **KEYWORDS**

Aeroponics, Hydroponics, Bubbler, NFT, TAG, pH, 1-wire, ATmega16, PWM

VRABEC, M. *Řídicí jednotka pro aeroponický pěstební systém*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2013. 43 s., 4 s. příloh. Semestrální práce. Vedoucí práce: ing. Lukáš Klozar

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Řídicí jednotka pro aeroponický pěstební systém* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu semestrální práce ing. Lukáši Klozarovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>x</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Pohled do minulosti.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Základní přehled systémů bez půdy jako pěstebního média.....</b>	<b>6</b>
2.1 Bubbler.....	6
2.2 NFT(Nutrient Film Technique).....	7
2.3 Aero (Pseudo-aero).....	8
2.4 TAG (True Aerosol Growing).....	9
<b>3 Příklad realizovaného projektu ze světa .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Navrhovaný systém.....</b>	<b>13</b>
4.1 Náskres celého TAG systému.....	14
4.2 Zavlažovací cyklus.....	15
4.3 Regulace pH.....	18
4.4 Řídící jednotka.....	19
4.4.1 ATmega16 – základní schéma.....	20
4.4.2 Sběrnice 1-wire a teplotní čidla.....	21
4.4.2.1 Základní informace.....	21
4.4.2.2 Praktická realizace.....	23
4.4.2.3 Více zařízení na jedné sběrnici.....	23
4.4.2.4 Teplotní čidlo DS18B20.....	24
4.4.3 Optozávory.....	25
4.4.4 Světlo (LED) řízené PWM a bzučák.....	25
4.4.5 Průtokoměr.....	26
4.4.6 Tlakové čidlo pro měření hladiny.....	26
4.4.7 Spínání 230 V zátěže (ventil + čerpadlo).....	27
4.4.8 Web server.....	27
4.4.8.1 Přechodová deska mezi 5 a 3,3 V logikou.....	29
4.4.9 Vývojový diagram.....	30
4.4.9.1 7položkové menu.....	31
4.4.10 Ukázka ze zdrojového kódu.....	32
4.4.11 Měření na řídící jednotce.....	35

<b>5 Závěr.....</b>	<b>41</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>42</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk.....</b>	<b>43</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>44</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Bubbler.....	6
Obrázek 2: Kořeny v systému bubbler.....	6
Obrázek 3: NFT (Nutrient Film Technique).....	7
Obrázek 4: Aero.....	8
Obrázek 5: Kořenový prostor TAG systému (převzato z [2]).....	9
Obrázek 6: Kořeny v TAG systému (převzato z [2]).....	9
Obrázek 7: Třapatka nachová v plném květu (převzato z [3]).....	11
Obrázek 8: Kořenový systém třapatky nachové před sklizní (převzato z [3]).....	11
Obrázek 9: Dospělý lopuch větší v aeroponickém A-rámu (převzato z [3]).....	12
Obrázek 10: Autoři držící dobře vyvinuté kořeny lopuchu (převzato z [3]).....	12
Obrázek 11: Náčrtnutí navrhovaného TAG systému.....	14
Obrázek 12: 1/3 zavlažovacího cyklu.....	15
Obrázek 13: 2/3 zavlažovacího cyklu.....	16
Obrázek 14: 3/3 zavlažovacího cyklu.....	17
Obrázek 15: Regulace pH.....	18
Obrázek 16: Blokové schéma řídicí jednotky.....	19
Obrázek 17: Základní zapojení ATmega16.....	20
Obrázek 18: Komunikace po sběrnici 1-wire (převzato z [4]).....	22
Obrázek 19: Teplotní čidlo DS18B20 (převzato z [5]).....	24
Obrázek 20: Připojení teplotního čidla na 1-wire sběrnici (převzato z [5]).....	24
Obrázek 21: Optozávora CNY70 (převzato z [6]).....	25
Obrázek 22: Zapojení LED řízené PWM a bzučák.....	25
Obrázek 23: Průtokoměr FCH-m-PP-LC (převzato z [7]).....	26
Obrázek 24: Tlakové čidlo MPX5010DP (převzato z [8]).....	26
Obrázek 25: Schéma zapojení spínání 230 V zátěže pomocí triaku.....	27
Obrázek 26: Web server – Top (Převzato z [9]).....	27
Obrázek 27: Web server – Bottom (Převzato z [9]).....	27
Obrázek 28: Přechodová deska mezi 5 a 3,3 V logikou.....	29
Obrázek 29: DPS a osazovací výkres přechodové desky.....	29
Obrázek 30: Vývojový diagram.....	30
Obrázek 31: Vývojový diagram časovací smyčky.....	31
Obrázek 32: Záznam z praktického měření teplotních limitů.....	36
Obrázek 33: Měření vstřikovacího cyklu podle průtokoměru.....	37



Obrázek 34: Měření vstřikovacího cyklu podle pevných časů.....	38
Obrázek 35: Měření vstřikovacího cyklu podle fotobrány.....	38
Obrázek 36: Fotografie realizované řídicí jednotky.....	39
Obrázek 37: Fotografie řídicí jednotky se vstřikovacím systémem.....	39
Obrázek 38: Fotografie v okamžiku zavlažení - mlhování 1.....	40
Obrázek 39: Fot. v okamžiku zavlažení - mlhování 2.....	40

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Měření teplotních limitů na řídicí jednotce.....	35
---	----

# Úvod

Práce popisuje historii pěstování rostlin bez půdního substrátu, tedy hydroponii a její následný vývoj v aeroponii. Práce nastiňuje návrh celého aeroponického pěstebního systému včetně řídicí jednotky. Oproti většině aeroponických systémů, kde se k rozstřikování živného roztoku využívá ať už nízkotlaké nebo i vysokotlaké čerpadlo, tento návrh využívá vysokotlakého kompresoru, z jehož vzdušníku je vzduch přes elektricky ovládaný ventil postupně upouštěn. Výhoda kompresoru oproti čerpadlu je především taková, že kompresor nebude spínán v každém zavlažovacím cyklu, ale doplní tlak ve vzdušníku pouze jednou za čas, což přispěje k životnosti celého systému. Řídicí jednotka obstarává především obsluhu vstřikovacího systému, který zajišťuje základní podmínky pro rozvoj kořenového systému, řízení světelné periody a teploty v systému. V původním návrhu bylo smýšleno měřit a regulovat pH živného roztoku v nádrži. Řídicí jednotka také zaznamenává měřené údaje na webový server pro sledování a vyhodnocení časových změn v systému i ze vzdáleného místa přes internet.

# 1 Pohled do minulosti

„Před mnoha tisíciletími, když se naši praotcové stali z volně se potulujících lovců a nomádů usedlými pěstiteli rostlin a dobytka, utvořili si snad již první představy o výživě rostlin. Podnětem k tomu byla drobná pozorování, např. to, že z trouchnivějící mrtvolky odumřelé rostliny vypučí nejbujnější život. Pravděpodobně si již nějaký tehdejší mudrlant lámal hlavu otázkou: „Jak a z čeho žijí rostlin?“ Nic neprozrazuje postup přijímání výživy. Přesto rostliny žijí, rostou, kvetou a plodí. První písemně zachycené myšlenky tohoto druhu pocházejí od řeckého filosofa Aristotela (384-322 př. n.l.), jehož učení vyjadřuje přesvědčení, že problém výživy rostlin byl již vyřešen. Aristoteles hlásal, že rostliny — uvažováno z hlediska fyziologie výživy — jsou naprosto nečinné, že totiž přijímají své živné látky z půdy již v konečné, hotové (tedy organické) formě; rostliny se podle jeho názoru musely starat pouze o dopravu živných látek. Následující století nepřinášela v tomto oboru dlouho žádný pokrok. Četné herbáře, které byly napsány během velké kulturní epochy renesance, měly význam pouze pro vybudování, respektive zlepšení systematiky (rozdělení) rostlin. Teprve holandský polyhistor Jan Baptist van Helmont (1577-1617), zvaný „Faust XVII. století“, dal první popud k dalšímu rozvíjení učení o výživě rostlin. Skeptický vědec prováděl pokusy, které sloužily výzkumu výživy rostlin. Tak například naplnil kbelík přesně 200 librami pečlivě usušené zeminy. Potom zasadil do kbelíku větev vrby, která vážila asi 5 liber. V následujících měsících a letech pečoval o to, aby se na půdu ve kbelíku nedostalo ani trochu prachu, a zaléval pouze dešťovou vodou. Když potom po 5 letech trvání pokusu zjistil, že se váha vrbové větve zvětšila o 164 libry, kdežto váha půdy se zmenšila pouze o 2 unce (=62,5 g), byl nejprve značně udiven. Potom ze svého alchymistického hlediska usoudil, že to byla samotná voda, která dodala vrbové větvi látky nezbytné k růstu. Podceňoval tehdy význam 2 uncí půdy, ani ještě neznal význam vzduchu jako dodavatele kyslíčnicku uhličitého. Zcela podobně jako van Helmontovi se vedlo také anglickému badateli Josefu Priestleyovi (1733-1804), který jednoho dne udělal zajímavé pozorování. Pouze si je neuměl správně vyložit. Jak známo, nemůže svíčka dlouho hořet pod vzduchotěsně uzavřenou nádobou. Jakmile je ve vzduchu spotřebován kyslík, který podporuje hoření, svíčka začne blikat a ihned zcela zhasne. Priestley položil zároveň s hořící svíčkou pod skleněný zvon i zelenou větvíčku a s údivem zjistil, že svíčka nyní hořela měřitelně delší časové období. Zelené části rostliny musely podle toho nějak ovlivnit vzduch. O jaký postup přitom šlo, o tom Priestley neměl ani ponětí, protože o asimilaci kyslíčnicku uhličitého tenkrát ještě nikdo nic nevěděl.

Kritika učení Aristotelova, kterou počal již van Helmont, pokračovala pracemi italského učenice Marcella Malpighiho (1628-94) a jeho francouzského vrstevníka Edne Mariotteho (1620-84). Oba zjistili, že látky přijímané rostlinami jako výživa z půdy podléhají asi chemickým změnám, dříve než je rostliny použijí pro tvorbu svých tkání. Z četných pokusů Štefana Halese (1677-1761) vyplynulo, že při tvorbě organické rostlinné hmoty připadá velký význam vzduchu. Tím byl učiněn důležitý a rozhodující krok na cestě k učení o výživě rostlin založený na skutečnostech. Může nás překvapit, že první pokus pěstovat rostliny ve vodních roztocích bez půdy byl pravděpodobně

proveden již před 250 lety. John Woodward (1661-1728), profesor lékařství na Grashamově koleji v Londýně, referoval v roce 1699 o vlastních pokusech tohoto druhu. Pěstoval zahradní mátu nejprve v dešťové vodě, potom ve vodě z Temže a konečně v kalné vodě z nějakého kanálu z Hyde parku, kterou ještě předtím promíchal prstí. Stanovil váhu pokusných rostlin při zasazení a potom znova při vyjmutí z pokusných nádob. Na základě pozorování a výsledků měření usoudil: „Rostlinná hmota se netvoří z vody, nýbrž z určitých látek obsažených v půdě“. Dokazovala to zřetelně skutečnost, že největší přírůstek rostlinné hmoty byl ve třetí pokusné nádobě (s největším množstvím nečistot). Tím Woodward vyvrátil názor van Helmontův, podle něhož se tělo rostliny tvoří z vody. Avšak ještě ani on nemohl zcela domyslet souvislosti z toho vyplývající. Jan Ingehouz (1730-99) nás seznámil se základy asimilace kyslíčnicku uhličitého a dýchání rostlin. Théodoru de Saussureovi (1767-1845) a jeho vrstevníku Renému Joachimůvi Dutrochetovi (1776-1847) se již tenkrát podařilo přiblížit se k dnešnímu platnému pojetí tvorby organické rostlinné hmoty. Potom však nastal náhlý obrat. Naznačená cesta zůstala bohužel nepovšimnuta. Opět se objevila tzv. „stará humusová teorie“, která — krátce řečeno — hlásala: Nejdůležitější zdroj výživy rostlin netvoří minerální sloučeniny, nýbrž organické součásti, především humus. Toto mylné pojetí se podařilo vyvrátit teprve před 150 lety. Justus von Liebig (1803-73), velký německý zemědělský chemik, jasně stanovil v roce 1840 ve svém díle „Aplikace chemie v zemědělství a fyziologii“ toto: „Rostlinné organismy, tedy organické sloučeniny, poskytují lidem a zvířatům prostředky k výživě a udržování života, kdežto zdroje výživy rostlin dodává výlučně anorganická příroda“. Liebig dokázal, že se množství humusu v půdě růstem rostlin nezmenšuje, nýbrž se spíše zvětšuje. Rovněž ukázal, že rostliny vůbec nemohou přijímat humus nerozpustný ve vodě, není-li „předem stráven“ půdními organismy, tj. není-li rozložen až na anorganické sloučeniny (mineralizován). Tyto poznatky vytvořily základnu dnešní moderní zemědělské chemie. Pro její další vývoj bylo směrodatné von Liebigovo zjištění, že v dnešní době, kdy jsou známy podmínky úrodnosti půdy a její schopnosti udržovat život rostlin, nikdo by nemohl popírat, že pouze od chemie lze očekávat další pokroky v zemědělství. Von Liebig se při své badatelské činnosti mohl opřít o pracovní výsledky různých jiných vědců, tak například také o práce Jean Baptiste Boussingaulta (180-87), který znovu oživil Woodwardovo „pěstování rostlin ve vodním roztoku“ v pozměněné formě jako takzvané „pěstování v písku“. Francouzský učenec prováděl na svém statku Bechelbronn v Alsasku pokusy, jež přinesly důkaz, že plnohodnotná rostlinná kultura je možná i v půdě, která je zcela prostá humusu. Wiegmann (1771-1853) a Polstorff ukázali v roce 1838, když zodpovídali otázku o cenu Akademie věd v Göttingenu ve svém spise „O anorganických součástech rostlin“, že určité anorganické látky jsou pro vývoj rostlin nepostradatelné. Na to však již poukázal velmi zřetelně také Sprengel (1788-1859) ve své knize „Nauka o hnojení“. Vidíme tedy, že se falešné představy o výživě rostlin podařilo odstranit teprve počátkem 19. století, a to především díky pracím von Liebiga. Když se v základních rysech objasnily skutečné procesy výživy rostlin, následovaly další objevy v rychlém sledu. Historie těchto objevů je současně také historií pěstování rostlin bez půdy. Mnozí znamenití badatelé a vědci se během posledních 100 let snažili vypátrat další podrobnosti o výživě rostlin, zejména pak otázku, které anorganické sloučeniny rostliny potřebují jako svou výživu. Na objasnění této otázky a mnoha s tím souvisejících problémů se stále ještě pracuje. Tzv. „pěstování rostlin bez přírodní půdy“ se vlastně poprvé uskutečnilo v roce 1860. V tomto roce profesori Wilhelm Knop (1817-1901, profesor zemědělské chemie a vedoucí

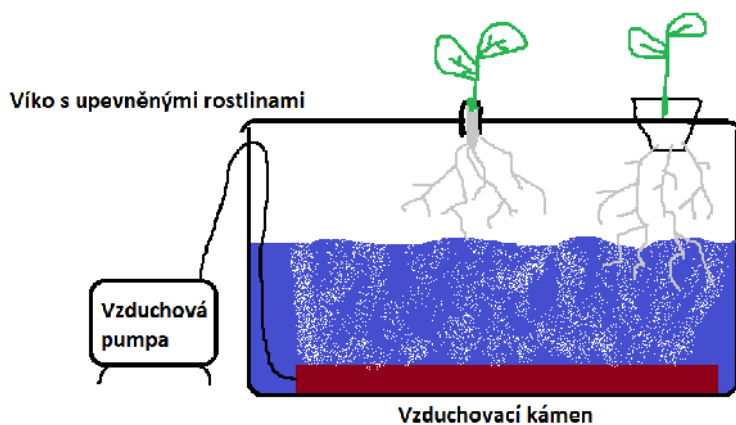
zemědělské pokusné stanice v Lipsku — Möckernu) a Julius Sachs (1832-97, profesor botaniky v Bonnu — Poppelsdorfu) poprvé připravili roztoky solí, které umožnily pěstovat zelené rostliny nezávisle na půdě. První úspěchy povzbudily k dalšímu vývoji takových pokusných zařízení. Od té doby jsou „nádoby s vodním roztokem“ samozřejmou pomůckou ve výzkumných laboratořích zemědělských ústavů. Nejprve se věřilo, že pěstování rostlin bez půdy je vhodné pouze jako vědecká výzkumná a pokusná metoda. Dnes nás tato skutečnost udivuje, uvážíme-li, že věda již na konci minulého století mohla poskytnout předpoklady pro pěstování rostlin bez půdy v širším měřítku, a to jak na výdělek, tak i jako amatérskou zálibu. Spojení otázky pěstování rostlin ve vodním roztoku s komplexem otázek produkce potravin je úzce spjata se jménem amerického rostlinného fyziologa prof. dr. Williama F. Gericka, který jako docent university v Berkeley v Kalifornii prováděl rozsáhlé pokusy v přírodě a podal o tom poprvé zprávu v roce 1929. Uveřejnil teorii „hydroponie“ (jako paralelní pojem ke „geoponii“, řeckému slovu pro pěstování v půdě) a vyslovil tvrzení, že rostliny bez půdy je možné pěstovat i ve velkém rozsahu a že toto pěstování má svůj význam. Jeho pokusy ukázaly, že se v nádobách naplněných živným roztokem může pěstovat velké množství různých užitkových rostlin. Tento způsob pěstování rostlin byl v praxi vyzkoušen během poslední světové války, kdy bylo třeba zásobovat čerstvou zeleninou jednotlivé americké oddíly, sloužící na naprosto neúrodných skalnatých ostrovech světových moří. Na těchto ostrovech byly třaskavinami vyhloubeny v holých skalách hydroponické bazény, kde vyrůstalo až nadbytečné množství po všech stránkách vyhovující zeleniny. V tiskových zprávách po druhé světové válce se jako o průkopníku razícím cestu pěstování rostlin bez půdy mluvilo většinou pouze o prof. Gerickovi. Nesmíme však zapomenout, že se v době, kdy prof. Gericke pokračoval ve svých pokusech, používal již tento způsob pěstování rostlin i na mnohých místech v Evropě. Nejvýznamnější pokusy byly založeny v Sovětském svazu z podnětu D. N. Prjanišnikova pod vedením bioložky V. L. Pjatakovej. Výsledky tohoto významného pokusu prakticky využila ruská polární expedice v roce 1937. Pěstování rostlin bez půdy bylo zavedeno také v Maďarsku v Karpatech (pod vedením prof. Paula Röszlera) a v Polsku jižně od Lvova (pod vedením prof. W. Piotrowszkiho), a to téměř současně během let 1932/33. V obou zařízeních, založených ve výše položených oblastech, se přednostně pěstovaly rané zeleniny a okrasné rostliny. Tato zařízení jsou méně známa, protože to byly soukromé výdělečné podniky. V Německu bylo nejstarší zařízení pro pěstování rostlin bez půdy zřízeno v obci Steinheim (ve Westfálsku.) Založil je v roce 1938 F. Horning a od té doby dosahuje pozoruhodných úspěchů. Tak například u příležitosti zahradnické výstavy ve Stuttgartu v roce 1950 byla cenou za vynikající kvalitu vyznamenána Anthuria, vypěstovaná bez půdy ve Steinheimu. Přes diskusi, zda je vhodné pěstovat rostliny bez půdy nebo není, která ještě v dnešní době probíhá, byly během posledních dvaceti let zjednodušeny pracovní metody a sníženy provozní náklady. Různé způsoby pěstování, které se během doby vyvinuly, jsou dnes rozšířeny po celé zeměkouli. Výdělečná velkozařízení nalezneme hlavně v zámořských oblastech, především v USA, potom v holandských državách při mexickém zálivu, v Britské Guayaně, na jihomořských ostrovech a v Japonsku. Ve Spojených státech severoamerických známe kromě četných drobných podniků asi 40 velkopodniků, které mají vždy asi 800 — 1200 hydroponických záhonů, přičemž jeden záhon je velký průměrně 30 m<sup>2</sup>. Japonská zařízení, která jsou v blízkosti Tokia a Kjóta (velikosti 32 ha), zřídily původně americké okupační úřady; sloužila k zásobování amerických vojen—ských oddílů. Japonci se pak seznámili s pracovním postupem, takže,

když jim Američané tato zařízení předali, mohli již další provoz převzít sami. V Evropě jsou zahradnické podniky zařízení pro pěstování rostlin bez půdy například ve Švýcarsku, Francii, Dánsku, Norsku, Holandsku, Belgii, Anglii, Švédsku, Maďarsku, Polsku a v Sovětském svazu. Podle novějších zpráv chtějí Italové přebudovat výrobu rýžové sadby na způsob pěstování bez půdy. Po příslušných pokusech se totiž zjistilo, že se zavedením tohoto způsobu uspoří práce a provozní plochy. V Německu kromě již zmíněného podniku ve Steinheimu, který zahájil činnost v roce 1938, pěstuje rostliny bez půdy také podnik v Lemgo. V tomto zařízení se pěstovaly ve vodním roztoku již v letech 1936-39 karafiáty, bylo přitom dosaženo pozoruhodného výnosu, o 30% vyššího, než jsou běžné výnosy. Tímto způsobem pěstování rostlin v menším nebo větším rozsahu se v Německu zabývají ještě četné další zahradnické podniky a ústavy a dosahují pozoruhodných výsledků. Tento způsob se však v Německu nemohl dosud plně prosadit, a proto zůstal omezen na relativně malé množství zahradnictví. Není to překvapující, přihlédneme-li k tomu, že většina pěstitelů nemá dnes ještě potřebné znalosti. Také nevěcné, přehnané zpravodajství denního tisku v poválečné době (např. nadpis jednoho článku byl: „Stonásobné žně bez těžké práce!“) přispělo k tomu, že tento způsob pěstování rostlin příliš mnoho lidí zavrhl jako novinářskou kachnu.“ (Převzato z [1])

## 2 Základní přehled systémů bez půdy jako pěstebního média

### 2.1 Bubbler

Bubbler je nejjednodušší ze všech aktivních systémů hydroponie, vyžaduje pouze nádrž s roztokem, vzduchovací pumpu, vzduchovací kámen a víko pro uchycení rostlin. Systém bubbler lze shlédnout na obr.1 a 2.



Obrázek 1: Bubbler

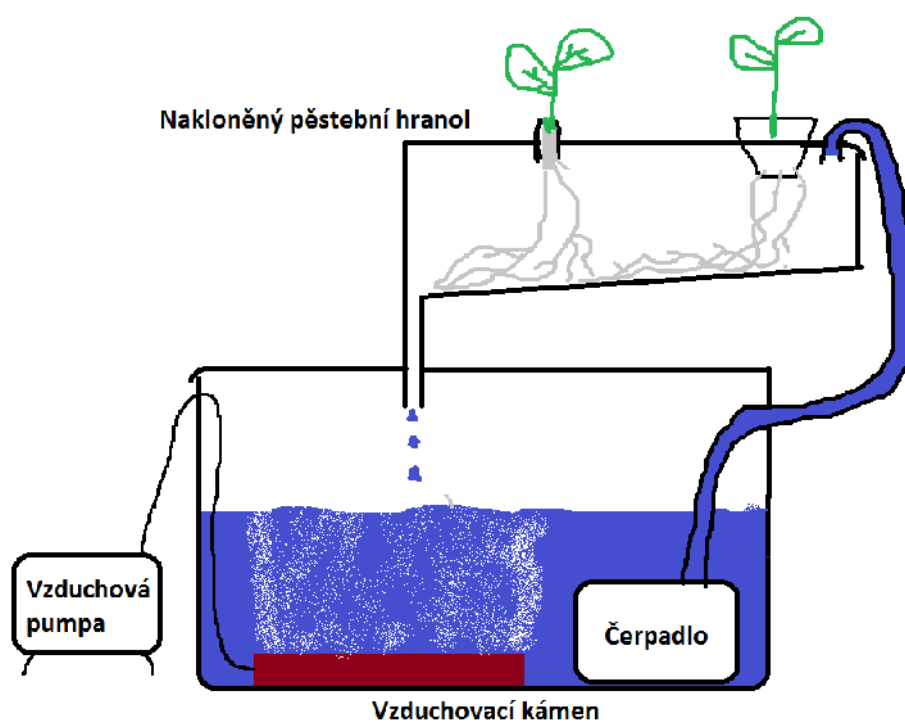


Obrázek 2: Kořeny v systému bubbler



## 2.2 NFT(Nutrient Film Technique)

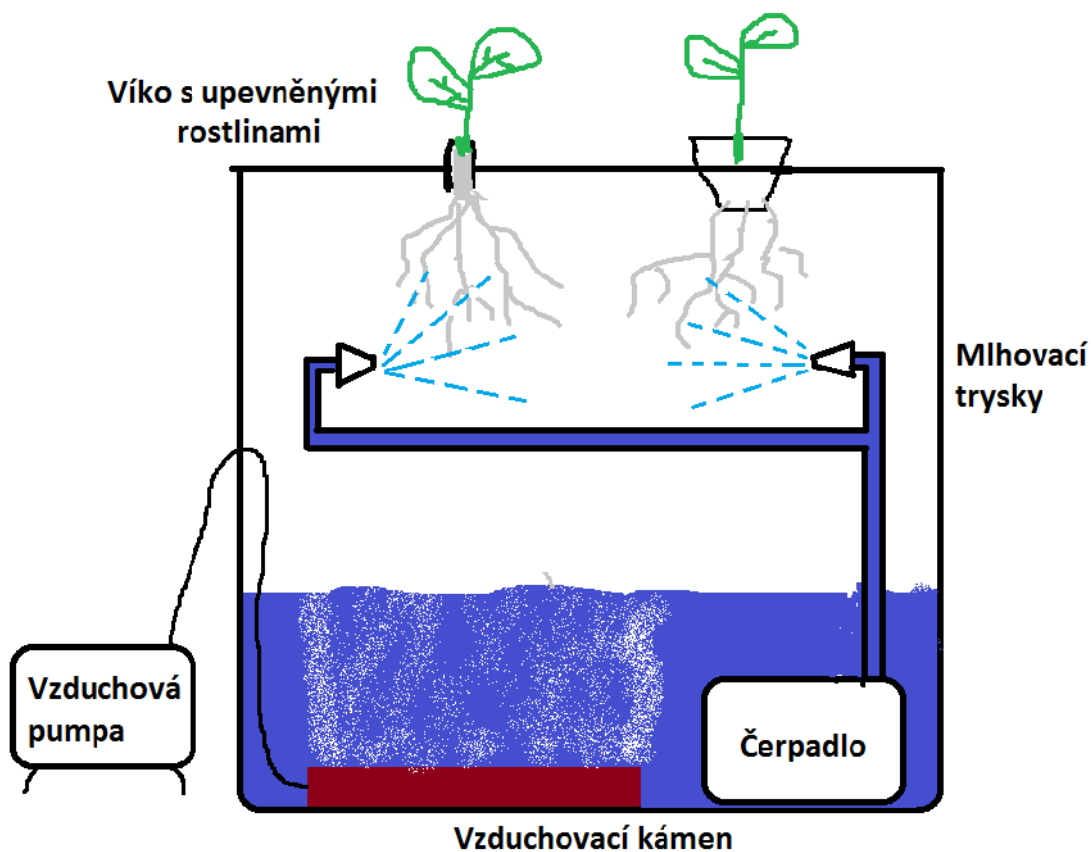
Nejsou zapotřebí žádné spínací hodiny, roztok koluje Non-Stop. Živný roztok je vytlačován do trubek, kde pomalu protéká kolem kořenů rostlin a poté se vrací zpět do rezervoáru. Kytka je uložena v malém košíčku. Není zapotřebí žádné médium, pouze musí být dostatek vzduchu pro kořeny a tma. Oproti systému bubbler je navíc zapotřebí oběhové čerpadlo. Systém NFT je vyzobrazen na obr.3.



Obrázek 3: NFT(Nutrient Film Technique)

## 2.3 Aero (Pseudo-aero)

V pseudo-aeroponických systémech je k výživě rostlin použité nízkotlaké ponorné čerpadlo a trysky rozstříkují proud vody, nebo kapičky mnohem větších rozměrů než u TAG. Tyto systémy tedy spíše připomínají systém NFT, jelikož nízkotlaké čerpadlo nevytvoří v kořenovém prostoru opravdový aerosol. Pseudo-aero systém je na obr. 4.



Obrázek 4:Aero

## 2.4 TAG (True Aerosol Growing)

Ve většině TAG systémů se využívá vysokotlaké membránové čerpadlo, schopné vyvinout tlak od 2 barů výše ( $200 + \text{kPa}$ ) s minimálním průtokem 450 l/h. Čerpadlo je napojené na mlhovací trysky, které atomizují živný roztok na kapičky o průměrné velikosti  $50\mu\text{m}$  (čím menší, tím rychleji jsou rostliny schopny vstřebat, protože mají větší povrchovou plochu, ovšem menší jak  $20\mu\text{m}$  zůstávají ve vzduchu jako mlha a rostliny je spotřebovávají pomalu; optimální velikost 30 -  $80\mu\text{m}$ ). U této techniky čerpadlo není zapnuté nepřetržitě, ale pro větší efektivitu se střídají mokré a suché cykly, konkrétně 20 - 30s ON / 3 - 4 min OFF. Ukázka systému TAG je na obr.5 a 6.



Obrázek 5: Kořenový prostor TAG systému (převzato z [2])



Obrázek 6: Kořeny v TAG systému (převzato z [2])

### 3 Příklad realizovaného projektu ze světa

#### Aeroponická kultivace rostlin s léčivým kořenem (čerpáno z [3])

V posledních letech se čím dál více lidí zajímá o alternativní způsoby medicíny vzhledem k deziluzi moderního lékařského systému a rostoucím cenám léků. Mnoho produktů z rostlin jako je třapatka, ženšen, ginkgo a lopuch získaly na popularitě díky léčbě chorob jako je běžné nachlazení a chřipka, deprese, vysoký krevní tlak, nespavost a dokonce i rakovina.

Terapeutické využití léčivých rostlin jako třapatky nachové (*Echinacea purpurea*) a lopuchu většího (*Arctium lappa*) je velmi širokosáhlé. Aeroponické pěstování ukázalo skvělý potenciál pro produkci sklizně kořenů, které jsou čistší a rychleji dozrávající než jak je tomu při použití konvenčních pěstebních metod za použití zeminy. Pozorovací studie zahrnovala 96 třapek a 30 lopuchů umístěných do systému tvaru písmene A. Lopuch předvedl pozoruhodnou produkci listů i kořenů po 6 měsících růstu. Sklizené kořeny měly požadované zabarvení se silnou špičkou kořenu a zralou kořenovou stěnou. Třapatka byla sklizena 9 měsíců po zasazení, ukázala výborné zabarvení i růst. Byly pozorovány různé variace velikostí a sklizně u jednotlivých rostlin, především u třapatky, což bylo způsobeno především genetickou variací semen. Mnoho z nejvíce oblíbených a vysoce ceněných botanických produktů, jako třapatka a ženšen, jsou pěstovány pro kořen. Kultivace často vyžaduje 3 – 6 let než-li kořeny dosáhnou dospělosti (za použití zeminy). Sklizeň vyžaduje pracovně a energeticky náročné oddělení kořenů od zeminy. Dokonce s moderními pěstitelskými technikami jako stavění vrstvených pěstebních ploch s menším množstvím zeminy, je většina vlásečnicových kořínků ztracena při oddělování zeminy od kořenů. Navíc komerční produkty získané z kořenů kultivovaných v zemině jsou ohroženy znečištěním zeminou, půdními škůdci a kořeny jiných rostlin. Zákaznické požadavky po lepší kontrole kvality a standardizaci botanických produktů se ukázaly být náročnou výzvou. Mnoho pěstitelů se poohlíží po alternativních metodách kultivace, které snižují kontaminační rizika a zvyšují kvalitu a konzistenci surového materiálu. Aeroponie je forma hydroponické kultivace rostlin, ve které jsou kořeny rostlin umístěny v uzavřené komoře a oprašovány roztokem s kompletní výživou. Aeroponie nevyžaduje pěstební medium a umožňuje snadný přístup ke kořenům. Komora a mlhovací systém zajišťují kompletní kontrolu kořenového prostředí, včetně teploty, hladiny živin, pH, vlhkosti, frekvence mlhování a střída, dostupnost kyslíku. Rostliny často vykazují zrychlený růst a dospívání v aeroponických systémech. Tyto kvality udělaly z aeroponie oblíbený výzkumný nástroj pro vědce studující růst kořenů a příjem živin rostlinami. Tyto kvality také dovolily aeroponii stát se zajímavou metodou pro komerční kultivaci vysoce ceněných lékařských kořenových rostlin, vzhledem k množství obtíží spojených s konvenčním pěstováním v zemině. Byly nastaveny zavlažovací cykly na 30 s ostřikování a 60 s pauza, pH v rozmezí 5,5 - 6,5, elektrická vodivost (EC) mezi 2,0 – 2,6 mS cm<sup>-1</sup>. Zachycený přebytečný roztok byl vylíván denně a roztok s výživou byl měněn po týdně.



*Obrázek 7 Třapatka nachová v plném květu (převzato z [3])*



*Obrázek 8 Kořenový systém třapatky nachové před sklizní (převzato z [3])*



*Obrázek 9 Dospělý lopuch větší v aeroponickém A-rámu (převzato z [3])*



*Obrázek 10 Autoři držící dobře vyvinuté kořeny lopuchu (převzato z [3])*

## Výsledky :

### *Lopuch větší :*

Z 30 rostlin lopuchu bylo 15 od zdroje semínek 1 a 15 od zdroje semínek 2. Délka kořenů byla od 80 – 140 cm. Střední suchá váha kořenů od zdroje semínek 1 byla 227 g na rostlinu s od zdroje semínek 2 to bylo 128 g. Komerční lopuchová pole v US produkují zhruba 910 g/m<sup>2</sup> při hustotě výsevu 25 rostlin/ m<sup>2</sup> . Rostliny od zdroje semínek 1 dosáhli na 1703 g/ m<sup>2</sup> při hustotě výsevu 7,5 rostliny/ m<sup>2</sup> . Aeroponie může dramaticky překonat výtěžnost polní produkce. Tyto výsledky neberou v úvahu možnost vícero sklizní během roku.

### *Třapatka nachová :*

V posledních třech měsících studie byly třapatky napadeny molícemi a plísní květu u pár rostlin. Toto vedlo ke ztrátě 20 rostlin a zastavení růstu ostatních. Navzdory těmto strastem kořenový systém rostlin zůstal zdravý a krásně bílý. Střední suchá váha byla 7,8 g/rostlinu ( 187 g/ m<sup>2</sup> ) při hustotě výsevu 24 rostlin/m<sup>2</sup> během méně než 10 měsíců. Komerční třapatková pole na Novém Zeelandu sklízí maximálně 260 g/ m<sup>2</sup> nebo 13 g/rostlinu , ovšem při dvouletém životu rostlin a hustotě výsevu 20 rostlin/ m<sup>2</sup> . Visuální odhady předpokládají, že hustota výsevu v aeroponickém systému může být zvětšena bez ztráty průměrné sklizně kořenů na rostlinu. Odhaduje se sklizeň vyšší jak 280 g/ m<sup>2</sup> za 10 měsíců při hustotě výsevu 36 rostlin/ m<sup>2</sup> . Když budou problémy se škůdci lépe zvládnuty a výnosnější odrůda třapatky vybrána a klonována, sklizeň může být ještě větší.

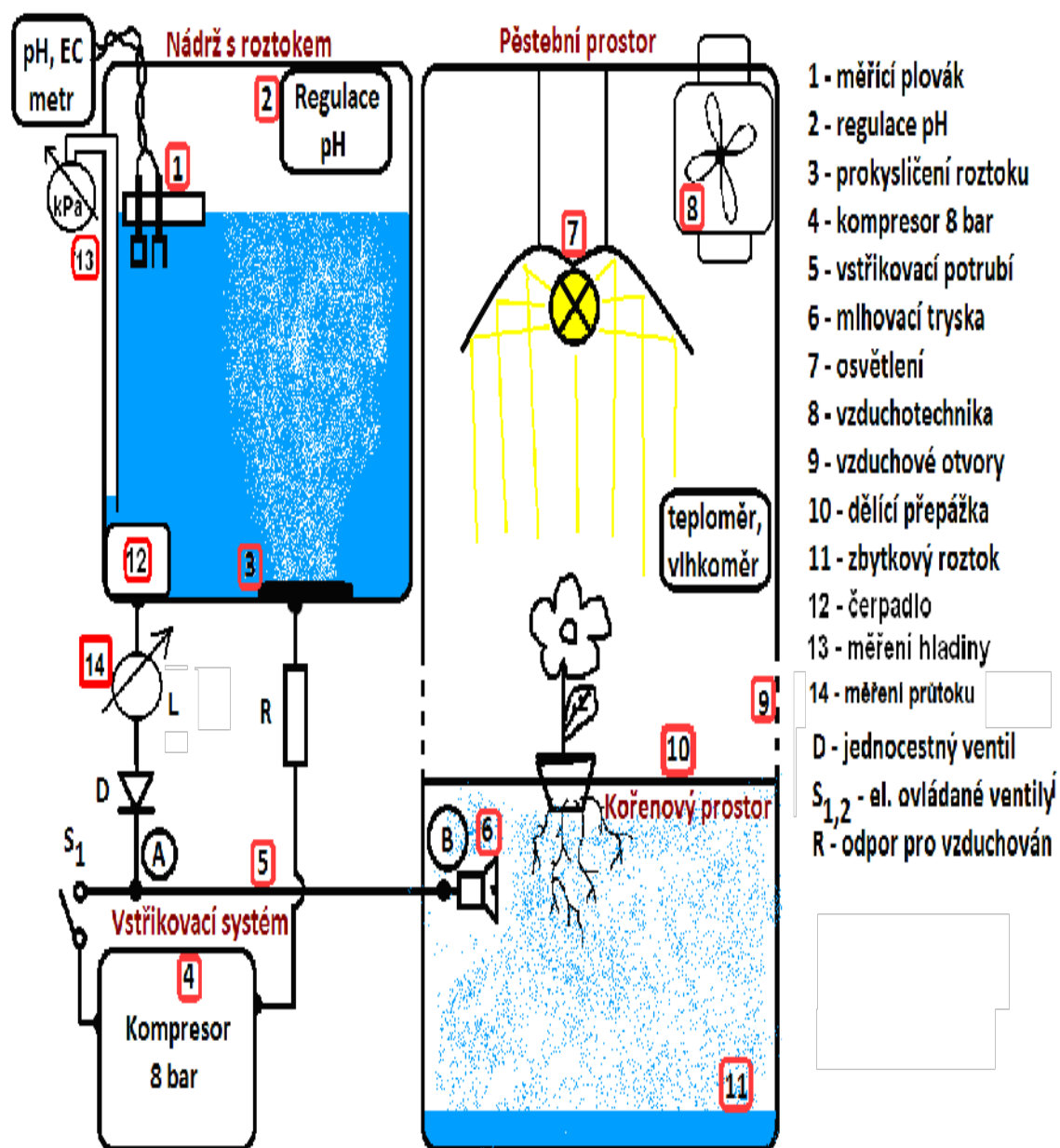
### Závěr :

Výsledky obou, jak třapatky, tak lopuchu ukázaly, že aeroponická kultivace je srovnatelná nebo lepší v porovnání s konvenční polní produkcí. Vyšší hustota výsevu a více sklizní za rok mohou zvýšit sklizeň velmi významně oproti polní produkci. Visuální kvalita všech kořenových produktů byla perfektní s minimálním rizikem kontaminace a žádnými ztrátami během sklizení.

## 4 Navrhovaný systém

Z výše uvedených systémů se jako nejlepší jeví systém TAG, proto se navrhovaný systém snaží postihnout všechny jeho výhody a odstranit nevýhody. Jednou z nevýhod je samotné spínání vysokotlakého čerpadla v krátkých zavlažovacích intervalech, které je nutné pro udržení vitálního kořenového systému rostlin dodržovat. Tato nevýhoda je odstraněna použitím vysokotlakého kompresoru namísto čerpadla. Kompresor je vybaven tlakovou nádobou, ve které neustále udržuje vysoký tlak. Vzduch je z tlakové nádoby uvolňován do vstřikovacího potrubí postupně v dávkách a tudíž se kompresor sepne pouze tehdy, kdy v tlakové nádobě poklesne tlak o určitou úroveň, což je mnohem méně častěji, než spínání čerpadla v každém zavlažovacím cyklu.

## 4.1 Náskres celého TAG systému

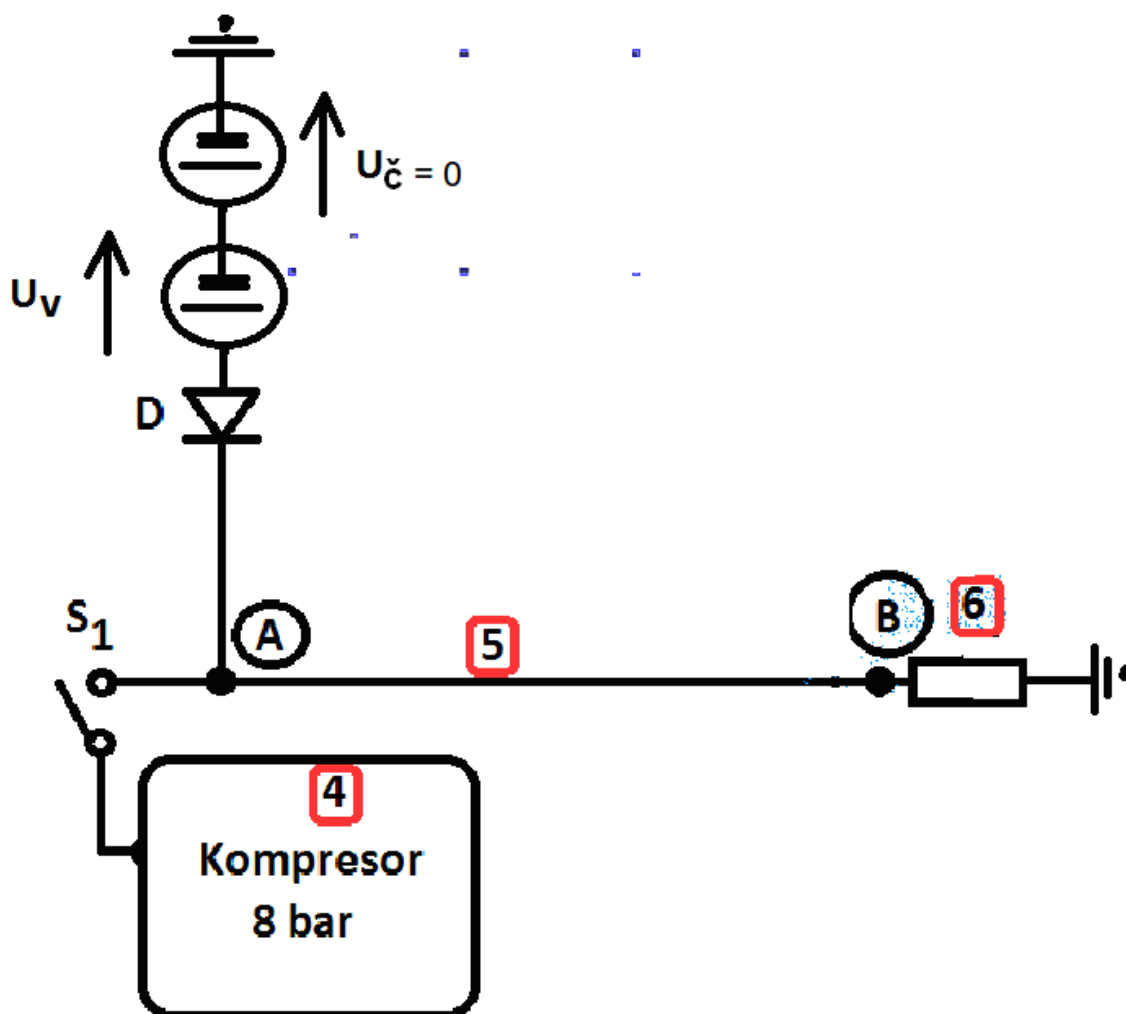


Obrázek 11 Náskres navrhovaného TAG systému



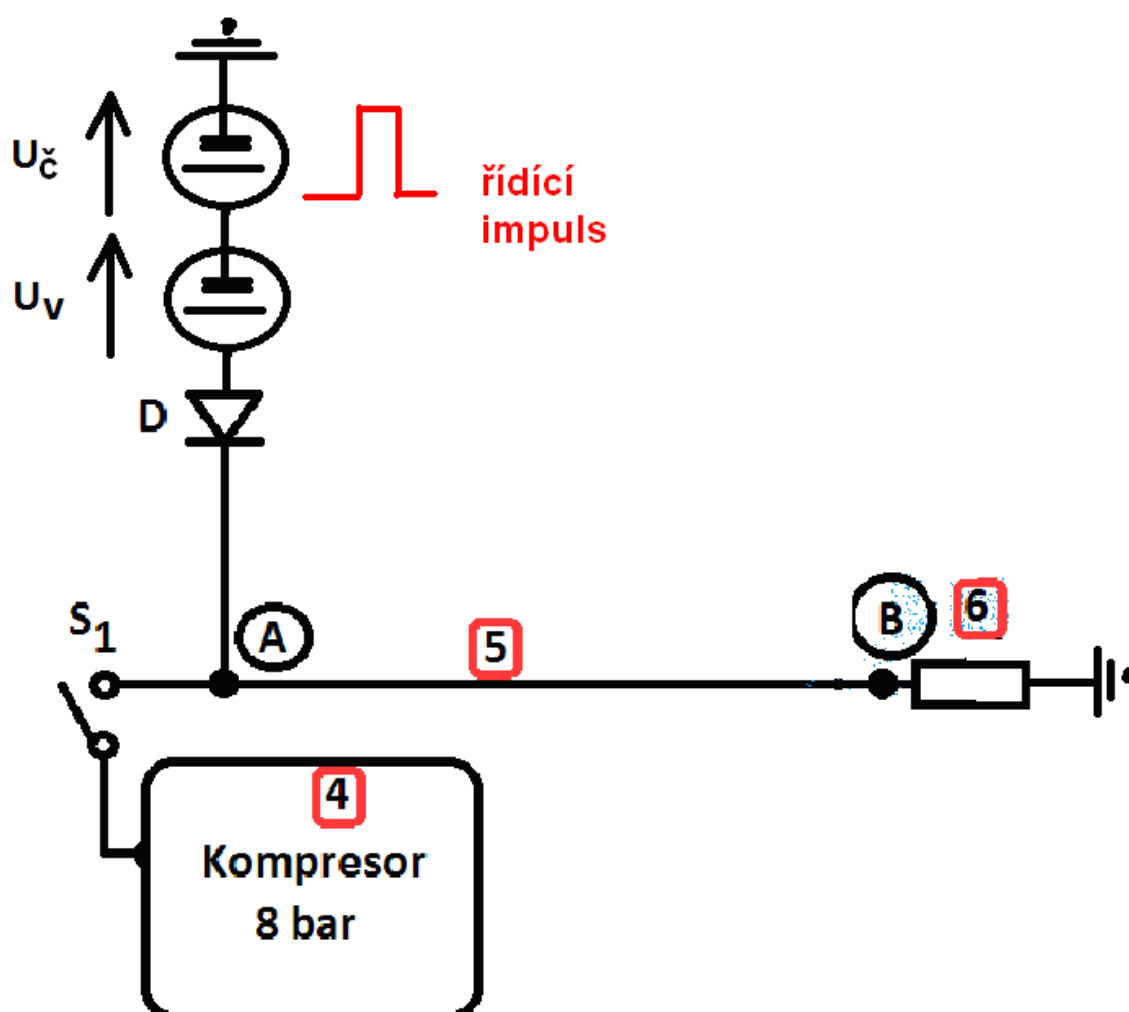
## 4.2 Zavlažovací cyklus

Zdroj  $U_v$  představuje tlak vodního sloupce v nádrži s roztokem. Prvek (5) na obr.12 představuje vstřikovací potrubí, na které je připojena mlhovací tryska (6). V tomto uspořádání je odpor trysky příliš velký a malý tlak  $U_v$  nezaplní vstřikovací potrubí roztokem pro zavlažení kořenového prostoru.



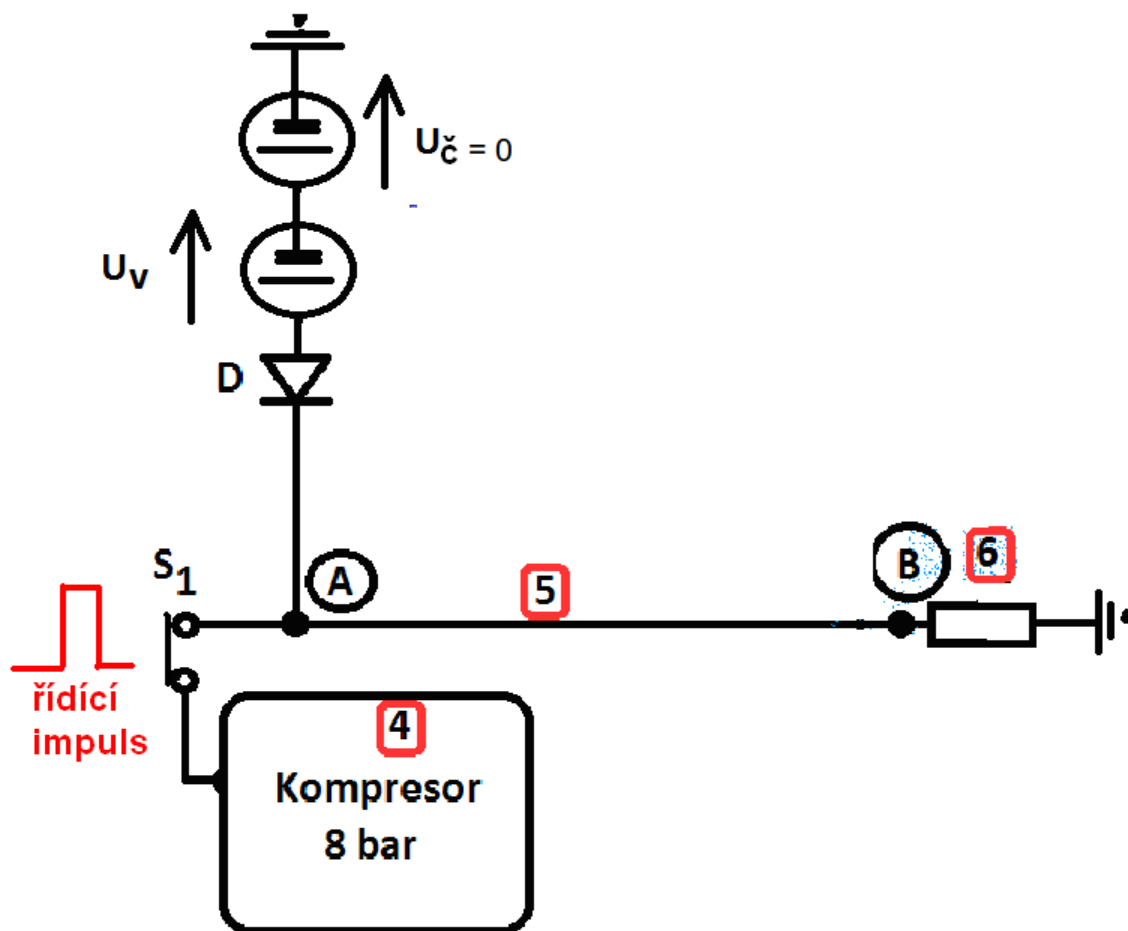
Obrázek 12 1/3 zavlažovacího cyklu

Pro zaplnění vstřikovacího potrubí živným roztokem je třeba, aby řídicí jednotka sepnula čerpadlo, které i přes velký odpor trysky do vstřikovacího potrubí vtlačí z nádrže živný roztok, viz. obr.13 .



Obrázek 13 2/3 zavlažovacího cyklu

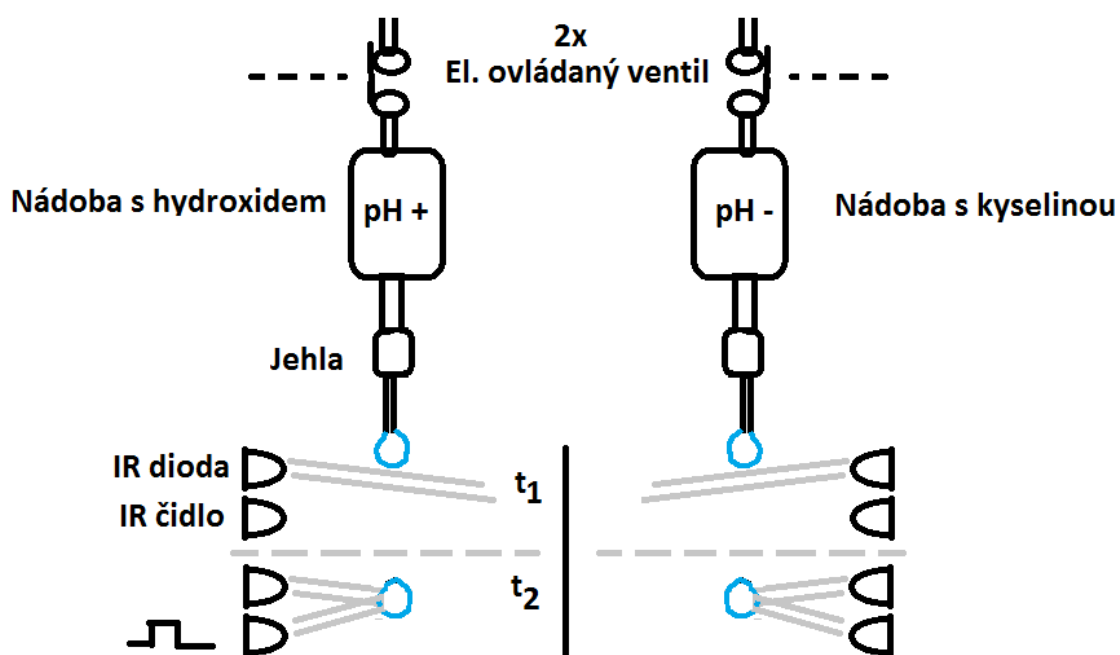
Po zaplnění vstřikovacího potrubí živným roztokem již stačí otevřít ventil  $S_1$ , který na vstřikovací potrubí přivede vysoký tlak vzduchu z kompresoru, viz. obr.14 . Jednocestný ventil D zabraňuje úniku vysokého tlaku zpět do nádrže s roztokem. Živný roztok ze vstřikovacího potrubí je nyní pod vysokým tlakem rozprášen přes mlhovací trysku do kořenového prostoru, zavlažovací cyklus se bude po uplynutí potřebné doby opakovat.



Obrázek 14 3/3 zavlažovacího cyklu

### 4.3 Regulace pH

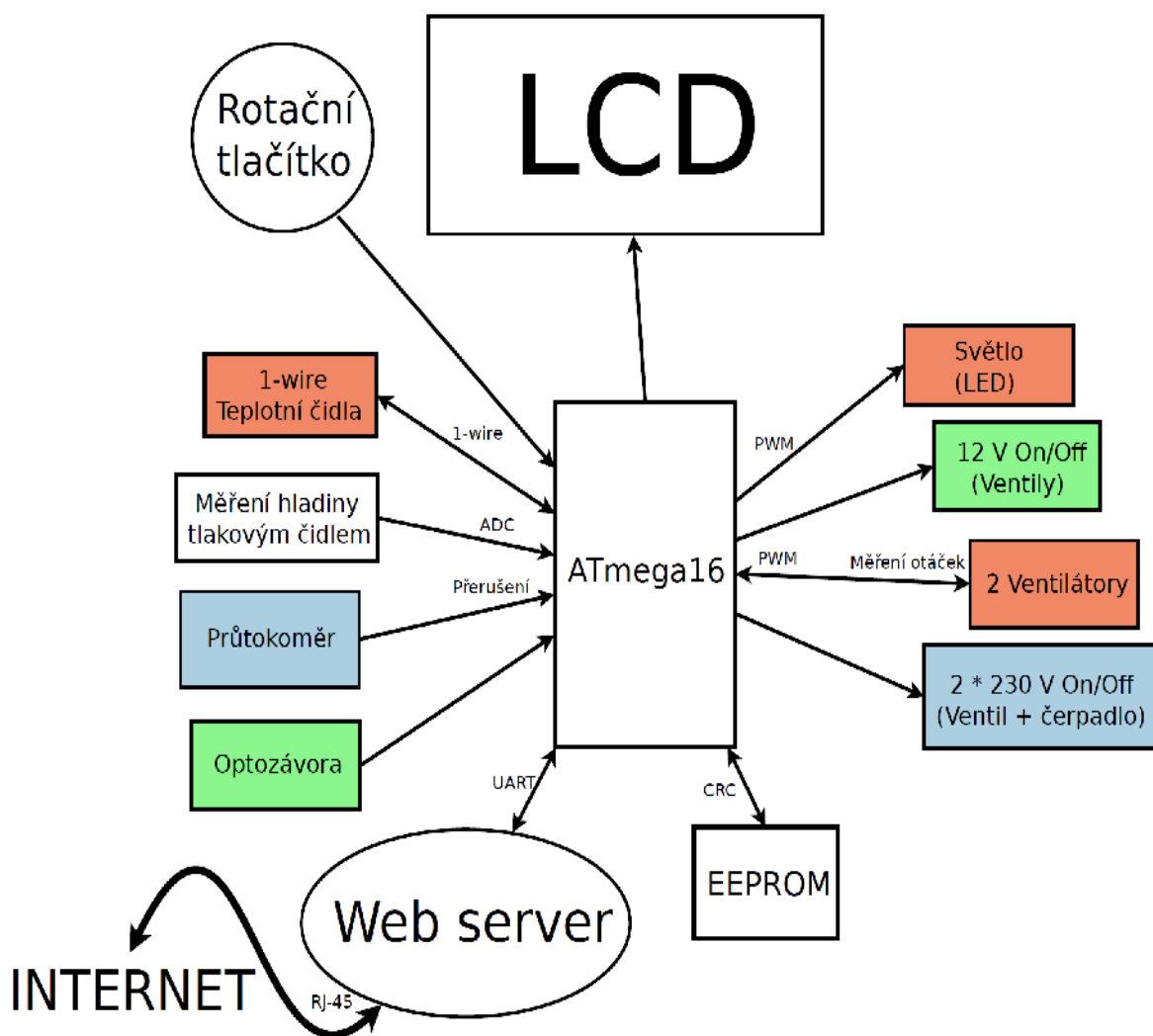
V nádrži s roztokem dochází vzhledem k použité vodě, použitých hnojiv a intenzitě prokysličení k různému kolísání hodnoty pH, což může mít za následek vybočení hodnoty pH z dovolených mezí a následné poškození kořenů až úplné uhynutí rostlin. Aby se tento efekt eliminoval je zapotřebí hodnotu pH kontrolovat a regulovat, aby z dovolených mezí nevybočila. K tomuto účelu se používají koncentrované kyseliny a zásady, které je nutno dávkovat velmi opatrně. Neopatrným zacházením s těmito látkami může dojít k znehodnocení živného roztoku v celé nádrži. Proto se návrh ubírá k dávkování těchto kapalin po jednotlivých kapkách. Jak je patrné z obr. 15, v klidovém stavu je el. ovládaný ventil rozepnut, v nádobě s regulační kapalinou se vytvoří podtlak a z jehly na jejím spodním konci nemůže vykapávat kapalina. Pokud se ovšem ventil otevře, začne přes něj do nádoby pronikat atmosférický tlak a z jehly začne vykapávat regulační kapalina. Jakmile se vytvoří kapka a oddělí se od jehly, letící kapka protne IR paprsek, který se od kapky odrazí do detektoru a ten ji zaznamená. Tento impuls již vyhodnotí řídicí jednotka a buďto se pokračuje v dávkování k dosažení požadované hodnoty pH nebo se dávkování ukončí uzavřením ventilu.



Obrázek 15: Regulace pH

## 4.4 Řídící jednotka

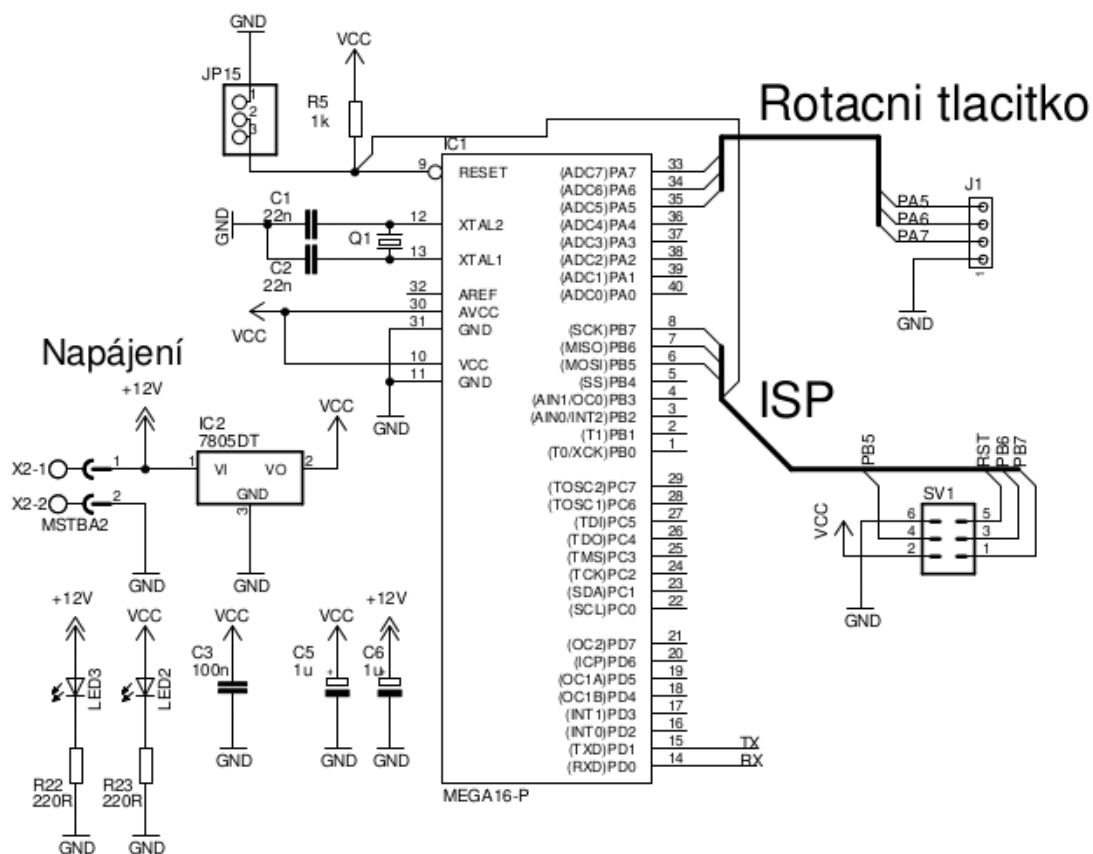
Srdcem řídicí jednotky je mikropočítač ATmega16, blokové schéma řídicí jednotky je na obr. 16. Pro ovládání bylo využito rotačního tlačítka a pro zobrazování LCD. Řídící jednotka umožňuje připojit 4 teplotní čidla na 1-wire sběrnici, dvě teplotní čidla slouží k řízení ventilátorů a světla. Pokud by došlo k překročení limitních teplot, bude jednotka zvyšovat otáčky ventilátorů, případně i snížení intenzity světla. Průtokoměr zprostředkovává zpětnou vazbu pro čerpadlo a ventil vstřikovacího systému, což umožňuje přesné dávkování živného roztoku do systému. Optozávora je určena pro kapkové dávkování regulační tekutiny. Tlakovým čidlem se měří hladina v nádrži s živným roztokem, pokud hladina klesne pod stanovenou mez, bude vyslán výstražný signál. Pro komunikaci s řídicí jednotkou ze vzdáleného místa je využito malého webového serveru, který provádí sběr a ukládání dat z jednotky. Blokové schéma lze pozorovat na obr.16.



Obrázek 16 Blokové schéma řídicí jednotky

#### 4.4.1 ATmega16 – základní schéma

Na obr. 17 se nachází mikropočítač ATmega16 se základním zapojením, které sestává z napájecí části, oscilátoru, resetovacího jumperu, ISP konektoru pro naprogramování obvodu a připojení rotačního tlačítka pro ovládání programu.



Obrázek 17 Základní zapojení ATmega16

## 4.4.2 Sběrnice 1-wire a teplotní čidla

### 4.4.2.1 Základní informace

„Sběrnice má jeden řídicí obvod (master) a jeden či více ovládaných zařízení (slave). Všechny obvody jsou zapojeny jednak na společnou zem, jednak paralelně na společný datový vodič. Tento datový vodič je připojen přes odpor cca 5k na napájecí napětí a "zdvihá" tak sběrnici do log. 1.

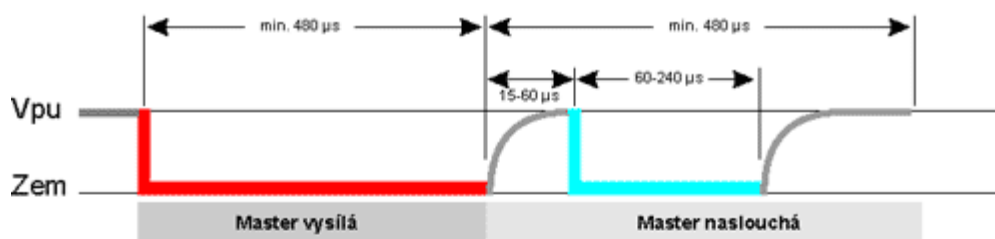
Komunikaci zahajuje vždy master **reset pulsem**. Nejprve "stáhne" datový vodič do log. 0 (*uzemní ho*) a drží ho na této úrovni minimálně 480 mikrosekund. Pak sběrnici uvolní a naslouchá. Odpor zatím vrátí sběrnici zpět do log. 1. Pokud je na sběrnici připojené nějaké 1-Wire zařízení, tak detekuje tuto vzestupnou hranu a po prodlevě (15 - 60  $\mu$ s) stáhne sběrnici na 60 - 240  $\mu$ s k log. 0.

Pokud se zařízení správně ohlásí, může master začít vysílat a přijímat data. Data jsou vysílána v tzv. "time slotech", česky bychom řekli nejspíš v "časových úsecích" nebo v "okénkách". Slot je dlouhý 60 až 120  $\mu$ s a během jednoho slotu je vyslán nebo přijat jeden bit informace. Mezi jednotlivými sloty musí být minimálně 1  $\mu$ s mezera, kdy je sběrnice v klidu.

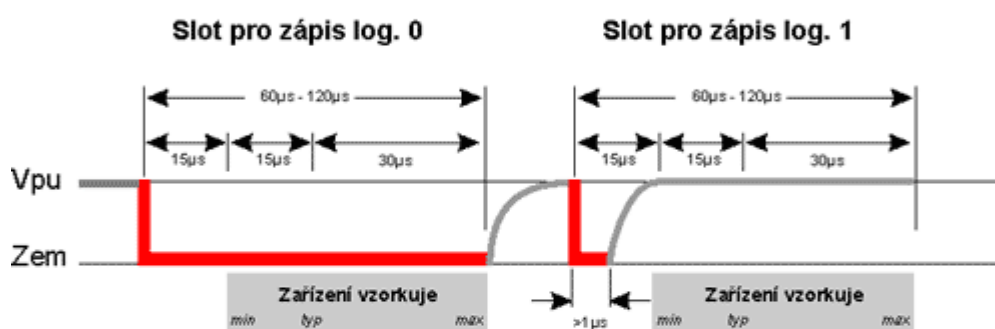
Existují 4 druhy slotů: Zápis 1, Zápis 0, Čtení 1 a Čtení 0. Zápisové sloty slouží k tomu, aby master vyslal data do zařízení. **Zápis 1** probíhá tak, že master stáhne sběrnici k nule minimálně na 1  $\mu$ s a nejpozději do 15  $\mu$ s od začátku ji opět uvolní a ponechá uvolněnou. Zdvihač odpor ji tedy vytáhne k log. 1. **Zápis 0** je o něco jednodušší: Master stáhne sběrnici k 0 a ponechá ji tak po celý slot, tedy min. 60  $\mu$ s. Zařízení vzorkuje stav na datovém vodiči zhruba 30  $\mu$ s po začátku timeslotu.

Čtecí sloty opět inicializuje master tím, že stáhne sběrnici k nule na minimálně 1  $\mu$ s a opět ji uvolní. Po tomto zahájení může zařízení vyslat 1 bit buď tím, že ponechá sběrnici v klidu (log. 1) nebo že ji stáhne (log. 0). Podrobnosti snad osvětlí následující obrázek .“ (převzato z [4])

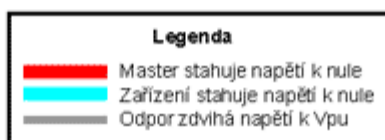
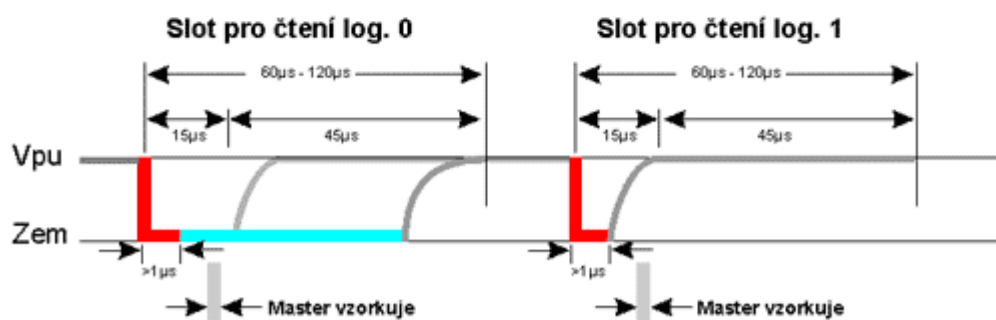
## 1-Wire™ Reset



## 1-Wire™ Vysílání dat



## 1-Wire™ Příjem dat



Obrázek 18 Komunikace po sběrnici 1-wire (převzato z [4])



#### 4.4.2.2 Praktická realizace

„Pokud řídí komunikaci mikrokontrolér, je algoritmus následující:

##### Reset

- Stáhnout sběrnici na 0, počkat 480  $\mu$ s
- Uvolnit sběrnici, počkat 70  $\mu$ s
- Přecházet sběrnici. Je-li ve stavu log. 0, je na ní připojeno nějaké zařízení. Pokud je v log. 1, žádné zařízení připojeno není.
- Počkat 410  $\mu$ s

##### Zápis log. 1

- Stáhnout sběrnici na 0, počkat 6  $\mu$ s
- Uvolnit sběrnici, počkat 64  $\mu$ s

##### Zápis log. 0

- Stáhnout sběrnici na 0, počkat 60  $\mu$ s
- Uvolnit sběrnici, počkat 10  $\mu$ s

##### Čtení

- Stáhnout sběrnici na 0, počkat 6  $\mu$ s
- Uvolnit sběrnici, počkat 9  $\mu$ s
- Přecházet sběrnici. Její stav udává přečtený bit.
- Počkat 55  $\mu$ s

Tyto časy jsou doporučené, pokud chcete znát mezní hodnoty anebo časování pro *overdrive* komunikaci, doporučuji [AppNote 126 - 1-Wire Communication Through Software](#), kde naleznete i příklady kódu v C.

Komunikace probíhá po bajtech a vždy se vysílá bit 0 (nejmenší) jako první a bit 7 jako poslední.“ (převzato z [4])

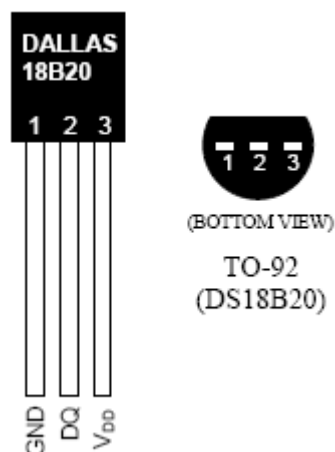
#### 4.4.2.3 Více zařízení na jedné sběrnici

„Každé 1-Wire™ zařízení, u kterého to dává smysl (iButton, teploměry, převodníky apod.), má v sobě paměť ROM, která obsahuje 64bitové unikátní číslo, pomocí kterého je možné jednotlivá zařízení na sběrnici od sebe navzájem odlišit. Toto číslo se skládá z typu zařízení (spodních 8 bitů, kódy jsou uvedeny v [Application Note 155](#)), sériového čísla (48 bitů) a z CRC kódu (nejvyšších 8 bitů). Pomocí tohoto čísla je každé zařízení jednoznačně identifikovatelné. Komunikace je pak poněkud složitější, protože po RESET pulsu je třeba vyslat příkaz **Match ROM**, pak 64bitový kód zařízení, se kterým se má pracovat, a teprve poté se posílá příkaz.

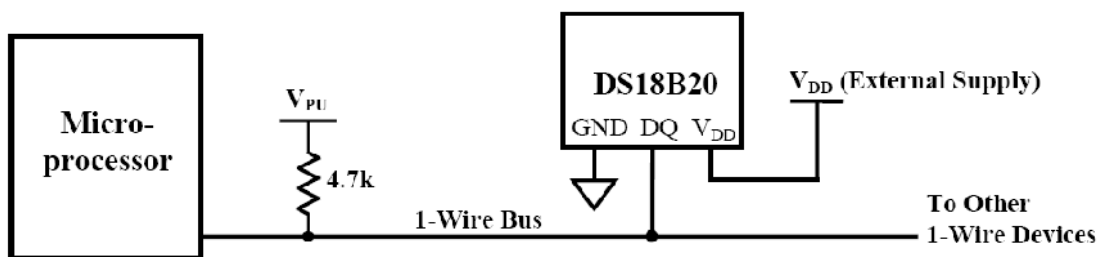
Pokud je na jedné sběrnici připojeno více zařízení, je třeba nejprve zjistit ID jednotlivých zařízení.“ (převzato z [4])

#### 4.4.2.4 Teplotní čidlo DS18B20

Jedná se o teplotní čidlo firmy Dallas semiconductor s digitálním výstupem komunikující po sběrnici 1-wire. Teplotní čidlo je na obr. 19 a jeho připojení ke sběrnici je na obr. 20.



Obrázek 19 Teplotní čidlo DS18B20 (převzato z [5])



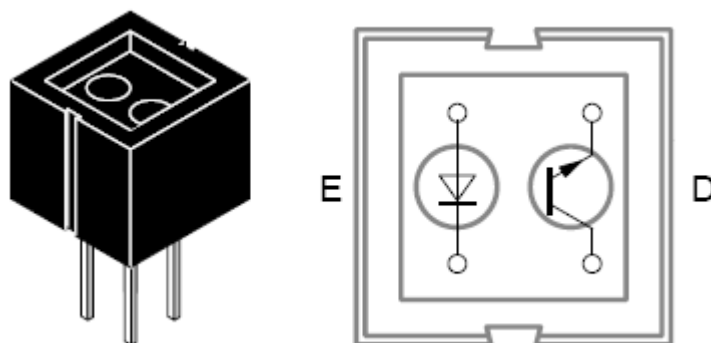
Obrázek 20 Připojení teplotního čidla na 1-wire sběrnici (převzato z [5])

Základní parametry :

Napájecí napětí	3 – 5 V
Rozsah měřených teplot	-55 až +125 °C

### 4.4.3 Optozávory

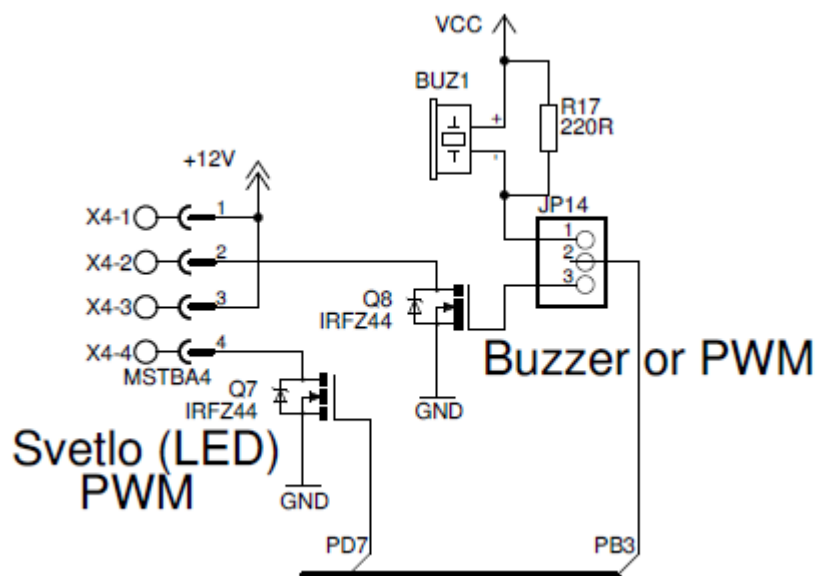
Jedná se o IR optozávoru firmy Vishay, jejíž provedení je znázorněno na obr. 21.



Obrázek 21 Optozávora CNY70 (převzato z [6])

### 4.4.4 Světlo (LED) řízené PWM a bzučák

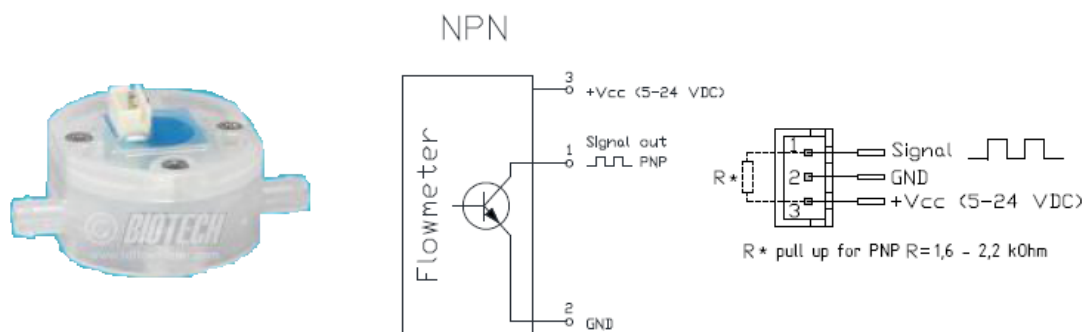
Intenzita světla(LED) je řízena z mikroprocesoru pomocí PWM přes tranzistor IRFZ44, jeho zapojení je na obr.22.



Obrázek 22 Zapojení LED řízené PWM a bzučák

#### 4.4.5 Průtokoměr

Průtokoměr FCH-m-PP-LC od firmy Biotech je k vidění na obr. 23. Na jeho výstupu se nachází obdélníkový průběh, počet pulsů udává množství protékající kapaliny. Výrobce udává 10 000 impulsů / litr.



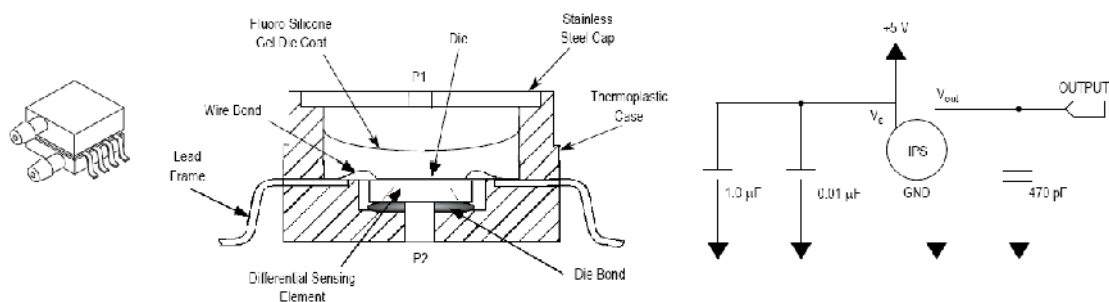
Obrázek 23 Průtokoměr FCH-m-PP-LC(převzato z [7])

#### 4.4.6 Tlakové čidlo pro měření hladiny

Základní zapojení tlakového čidla MPX5010DP firmy Freescale je na obr. 24.

Parametry :

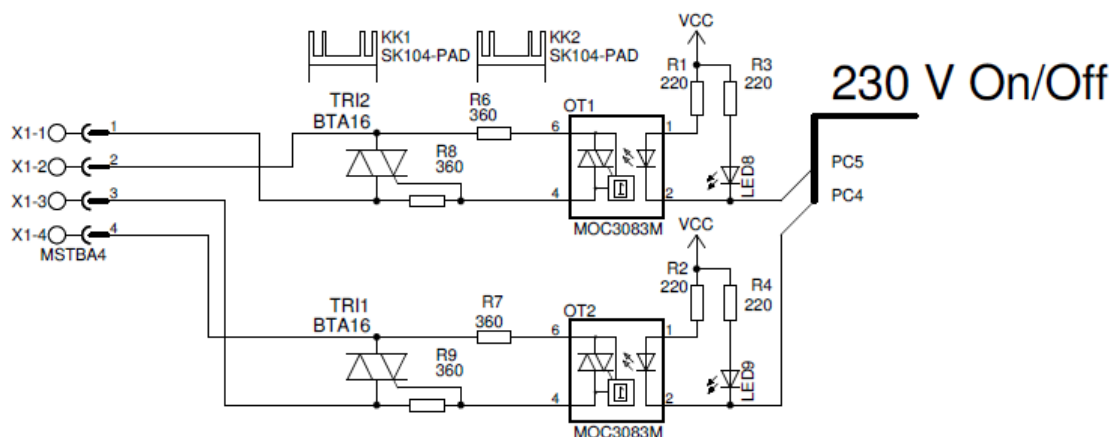
- Rozsah měřených tlaků      0 – 10 kPa (1019 mm H<sub>2</sub>O)
- Citlivost                      450 mV/kPa (4,4 mV/mm H<sub>2</sub>O)



Obrázek 24 Tlakové čidlo MPX5010DP(převzato z [8])

#### 4.4.7 Spínání 230 V zátěže (ventil + čerpadlo)

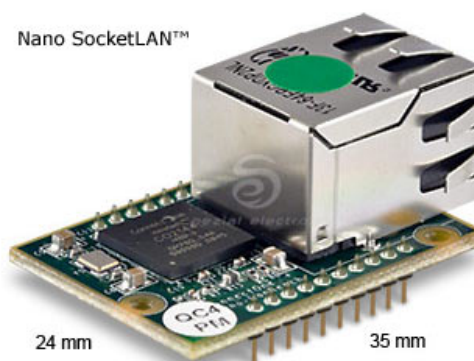
Pro spínání 230 V zátěže, což představuje jeden ventil a čerpadlo, bylo využito triaku BTA16, který je od řídicí logiky oddělen optočlenem MOC3083M.



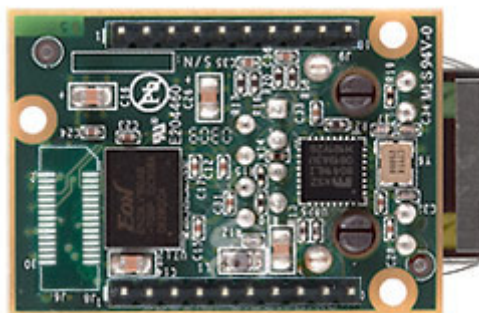
Obrázek 25: Schéma zapojení spínání 230 V zátěže pomocí triaku

#### 4.4.8 Web server

Web server je realizován modulem NanoSocket LAN od firmy ConnectOne.



Obrázek 26 Web server – Top (Převzato z [9])



Obrázek 27 Web server – Bottom (Převzato z [9])

„Moduly [Connect One](#), založené na IP procesoru [CO2128](#), umožňují nahrát do modulů vlastní, uživatelem vytvořený web server s maximální velikostí 256kByte. Postup je velmi jednoduchý a uživatelský web server umožňuje široké možnosti, je možné aby obsahoval tyto prvky:

- HTML stránky
- linky na externí stránky
- obrázky
- grafiku
- Java applety
- WAP stránky a další

Kromě uživatelského web serveru (samozřejmě je-li použit) obsahují moduly druhý web server - konfigurační, který je v modulu již z výroby a není možné jej měnit.

*Adresa uživatelského web serveru je:* http://<IP adresa modulu>

*Adresa konfiguračního web serveru je:* http://<IP adresa modulu>/ichip

Uživatelský web server navíc umožňuje unikátní vlastnost - tou je definice vlastních parametrů, které rozšíří standardní sadu AT příkazů. Vlastní parametry mohou být vloženy do těchto typů souborů - .HTM, .HTML, .JS, .VBS, .INC, .STM, .XML, .XSL, .HTC, .CSS, .WML, .WMLS, .XHTML.

Parametrem může být jakýkoli ASCII text (bez mezer) s délkou do 256 znaků, není-li již takový text standardním AT příkazem.

*Příklady:*

*zadání parametru:*

*dotaz na hodnotu parametru:*

AT+i<parametr>=<hodnota>

AT+i<parametr>?

Ve web serveru jsou tyto parametry volány pomocí jména parametru uzavřeného mezi vlnovkami, například bude-li jméno parametru "teplota" (bez uvozovek), bude jeho reference ve web serveru: ~teplota~ konkrétně například po sériové lince bude odeslán teplotním senzorem tento řetězec: AT+iteplota=23,1°C (tím se nastaví hodnota parametru "teplota" na "23,1°C").

Bude-li ve zdrojovém html kódu web serveru umístěn kód ~teplota~, bude ve výsledném html dokumentu zaměněn za "23,1°C".

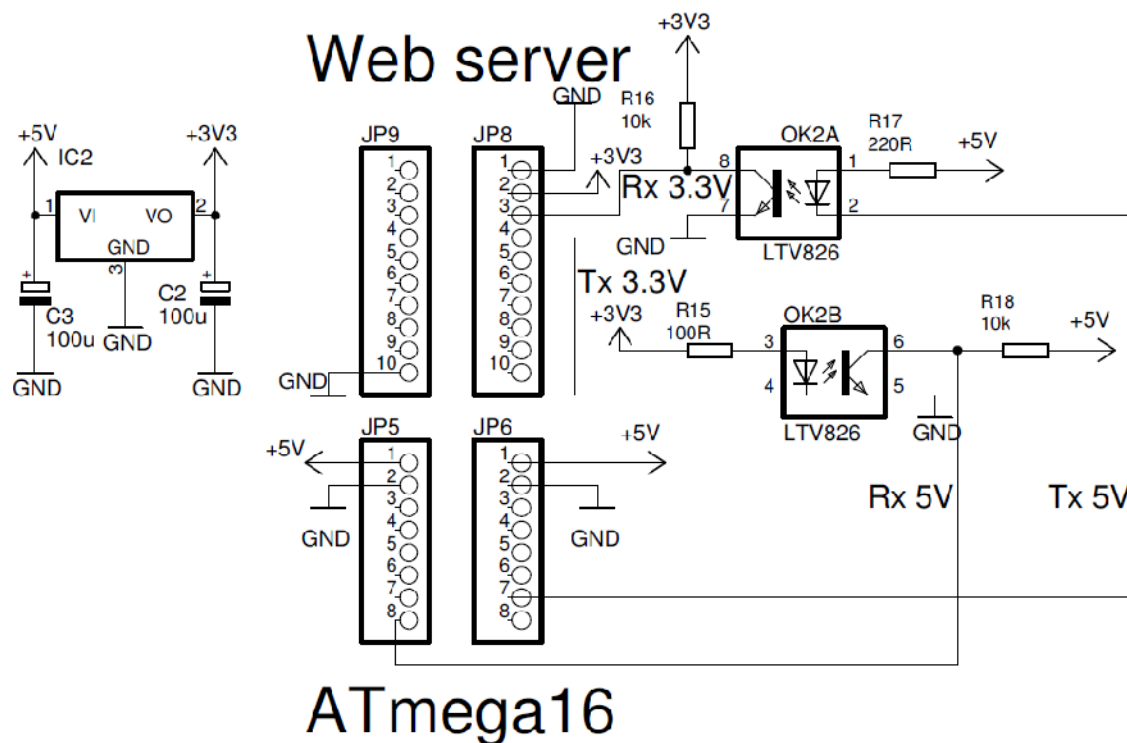
Naopak, je-li uživatelem na stránce web serveru změněna hodnota parametru a odeslána pomocí htm formuláře, je uložena do paměti RAM modulu. Externí host procesor se potom může dotázat na hodnotu parametru.

Pro zjištění, byla-li změněna nějaká hodnota lze využít příkazu Status Report 7 (AT+iRP7). Výsledkem příkazu Status Report 7 je bitová mapa, kde bit 10 indikuje (logickou 1), zda došlo k dálkové změně jedné nebo více hodnot. Hardwarově je k dispozici logický signál Wi-Fi modulu DATA\_RDY, jež lze využít pro generování interruptu procesoru v případě, že došlo ke změně nějaké hodnoty parametru.

Příkazem AT+iWNXT, který projde všechny parametry, které byly dálkově změněny, ale ještě nepřečteny aplikací (přes host procesor) lze potom tyto parametry snadno zobrazit a přečíst procesorem.“(Převzato z [9])

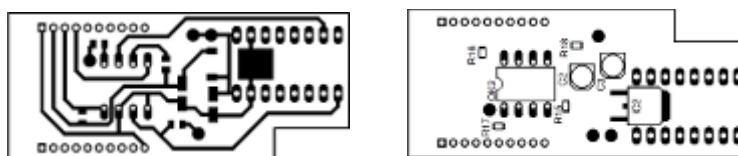
#### 4.4.8.1 Přechodová deska mezi 5 a 3,3 V logikou

Jelikož je web server vyroben pro použití s napájecím napětím 3,3 V a ATmega16 využívá 5 V, bylo třeba vyrobit převodník úrovní.



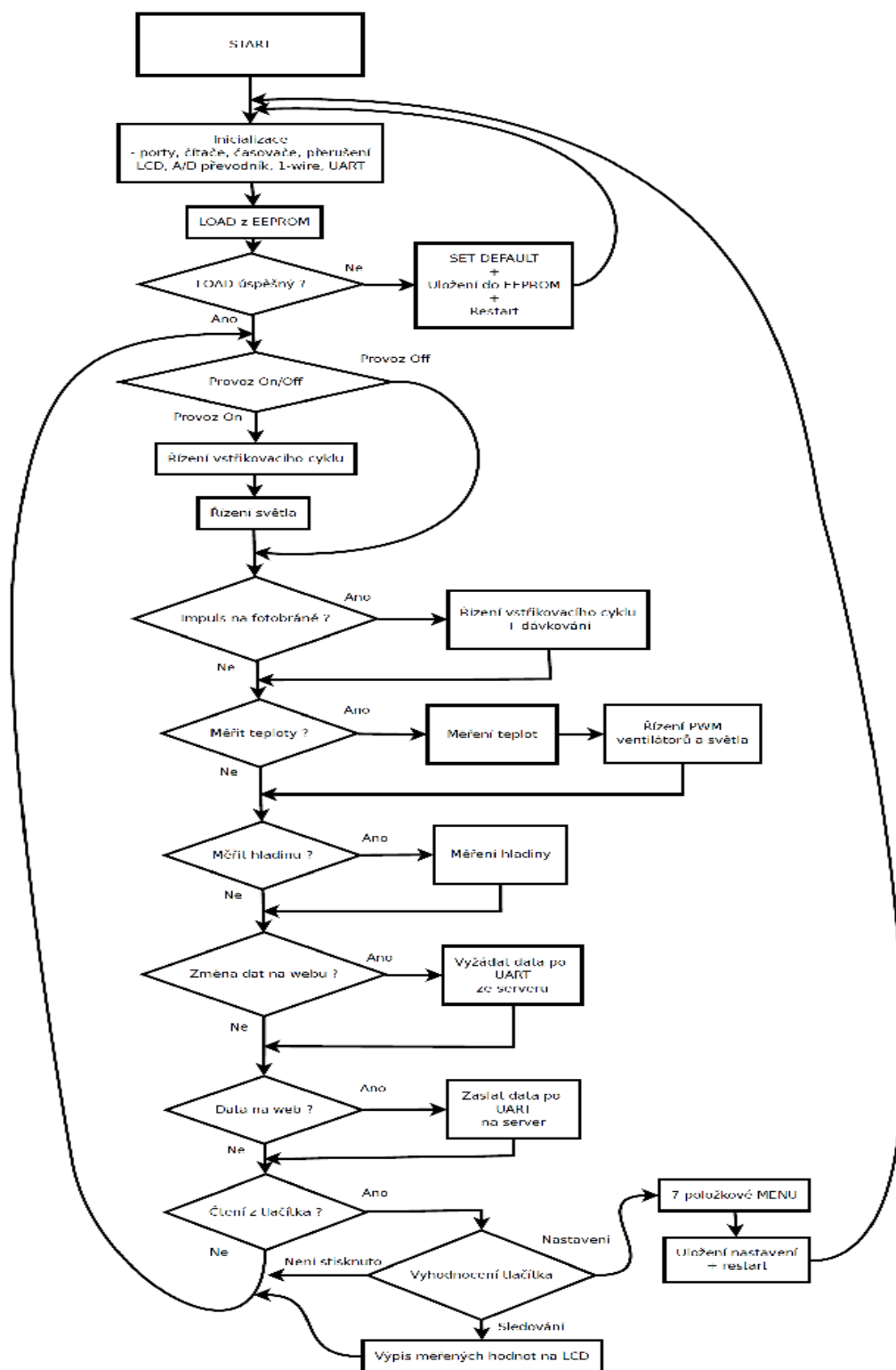
Obrázek 28: Přechodová deska mezi 5 a 3,3 V logikou

Rozměry desky : 60 x 26 [mm]



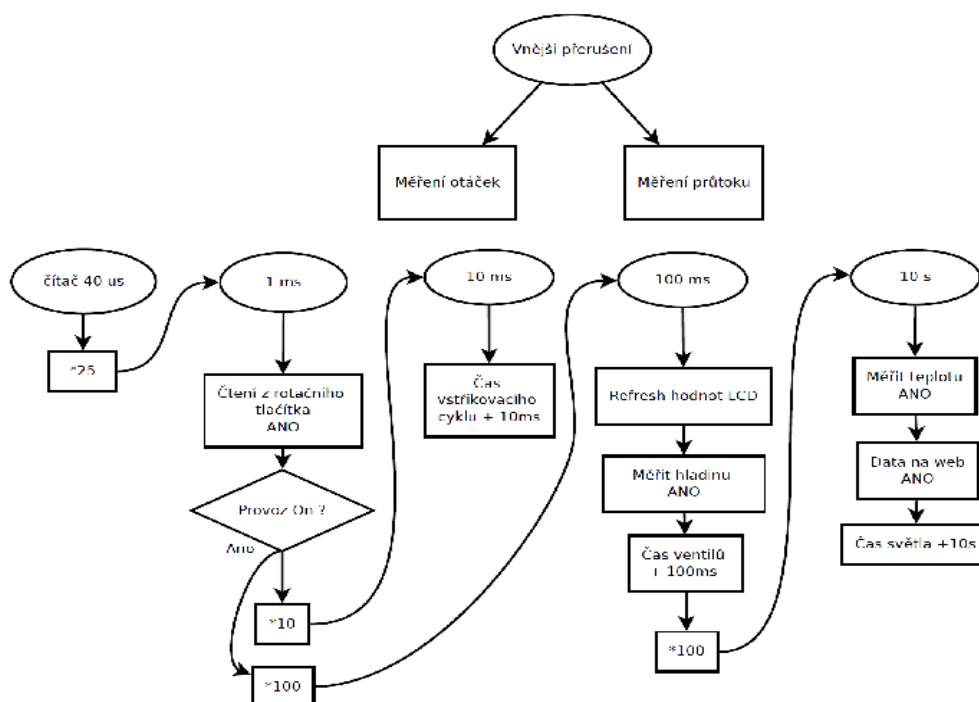
Obrázek 29: DPS a osazovací výkres přechodové desky

#### 4.4.9 Vývojový diagram



Obrázek 30: Vývojový diagram





Obrázek 31: Vývojový diagram časovací smyčky

#### 4.4.9.1 7 položkové menu

- Provoz jednotky
  - časy ventilu, čerpadla, ochrany, opakování zavlažovacího cyklu
- Nastavení světla
  - intenzita, časový režim (24/0,18/6,12/12, ručně)
- Chod ventilátorů
  - rychlost otáček manuálně nebo automaticky dle teploty, hraniční teploty
- Provoz dávkování
  - časy ventilů, ochrany
- Měření hladiny
  - kalibrace hladinoměru, nastavení alarmní hladiny
- Stav průtokoměru
  - nastavení množství dávkovaného roztoku pro zavlažovací cyklus
- Teplotní čidla
  - nalezení čidel připojených na 1-wire sběrnici a jejich přiřazení

#### 4.4.10 Ukázka ze zdrojového kódu

Následuje definice hlavního vektoru, do kterého se ukládají veškeré důležité hodnoty pro chod programu. K jednotlivým prvkům tohoto vektoru se přistupuje v dílčích částech programu a vektor jako celek se ukládá do paměti EEPROM a také se využívá při komunikaci s webovým serverem.

```
// Nastavení jednotlivých časů vstřikovacího cyklu
#define VENT_CERPADLO      0      //cas 2s
#define VENT_230           1      //cas 0.1s
#define VENT_DELAY         2      //cas 1s
#define VENT_REPEAT        3      //cas vent1+vent2+2xdelay
// Nastavení prvků ovlivňujících vstřikování
#define VENT_CHOD           4
    //0=prutokomer+cas,1=fotocidlo+cas,2=cas,3=vse

//Nastavení světla
#define SVETLO_CHOD        5      //0=off,1=defined,2=custom
#define SVETLO_INTENZITA 6      //0-100%
//Ruční nastavení časového cyklu
#define SVETLO_CUSTOM      7      //x hodin / 24h T
//Předdefinované časové cykly
#define SVETLO_PRE          8      //0=24/0,1=18/6, 2=12/12
//Teplotní limity pro řízení světla
#define SVETLO_LIM          9      //tepl. na snizení intenzity
#define SVETLO_MAX         10     //tepl. pro vypnutí

//Nastavení ventilátorů
#define FAN_1               11     //0=off,1=on,2=auto
#define FAN_2               12     //0=off,1=on,2=auto
    //režim auto reaguje na teplotní limity
#define FAN_1_OT            13     //40-100%
#define FAN_2_OT            14     //40-100%
//Nastavení teplotních limitů pro řízení ventilátorů
#define FAN_1_DH            15     //minimalni teplota
#define FAN_1_SH            16     //optimalni teplota
#define FAN_1_HH            17     //maximalni teplota
```

```

#define FAN_2_DH          18    //minimalni teplota
#define FAN_2_SH          19    //optimalni teplota
#define FAN_2_HH          20    //maximalni teplota

//Nastaveni času dávkovacího ventilu
#define VENT_12           21    //cas 0.1s

//Nastaveni hladinoměru
#define HLADINA_LIM       22    //lim. hladina/vypnutí,error
#define HLADINA_MM        23    //aktuální hladina
#define HLADINA_D1H       24    //D1 a D2 představují
#define HLADINA_D2H       25    //kalibrační hodnoty
#define HLADINA_D1L       26    //hladinoměru
#define HLADINA_D2L       27

//Nastavení dávkovacího množství průtokoměrem
#define VENT_MLH          28    //mnozství vody pro zavření
#define VENT_MLL          29    //ventilu

//Komunikační adresy přiřazených teplotních čidel
#define TCS_H             30    //tep. čidlo pro světlo
#define TCS_L             31    //tep. čidlo pro světlo
#define TCP_H             32    //tep. čidlo pro prostředí
#define TCP_L             33    //tep. čidlo pro prostředí

//Průtokoměr umožňuje měřit ve dvou režimech, což ovlivňuje
//počet vysílaných pulzů pro měření
#define PRUTOK_NAS        34    //0- 2500 p/l  1- 10000 p/l

//Kontrolní součet pro ověření správnosti zápisu do EEPROM
#define CRC_H             35
#define CRC_L             36

```

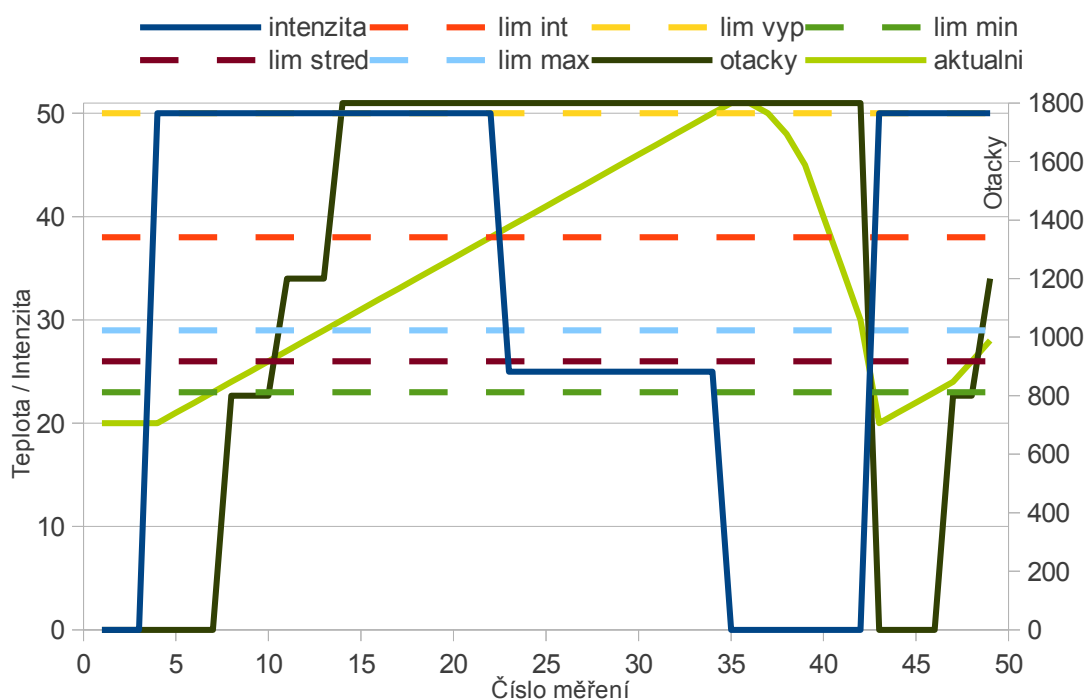
```
//Udává velikost hlavního vektoru
#define AMOUNT          37
//Vlastní vytvoření hlavního vektoru
unsigned char gm[AMOUNT];
eeprom unsigned char gme[AMOUNT];
```

#### 4.4.11 Měření na řídicí jednotce

lim int	lim vyp	lim min	lim stred	lim max
38	50	23	26	29
ID	intenzita	otacky	aktualni	
1	0	0	20	
2	0	0	20	
3	0	0	20	
4	50	0	20	
5	50	0	21	
6	50	0	22	
7	50	0	23	
8	50	800	24	
9	50	800	25	
10	50	800	26	
11	50	1200	27	
12	50	1200	28	
13	50	1200	29	
14	50	1800	30	
15	50	1800	31	
16	50	1800	32	
17	50	1800	33	
18	50	1800	34	
19	50	1800	35	
20	50	1800	36	
21	50	1800	37	
22	50	1800	38	
23	25	1800	39	
24	25	1800	40	
25	25	1800	41	
26	25	1800	42	
27	25	1800	43	
28	25	1800	44	
29	25	1800	45	
30	25	1800	46	
31	25	1800	47	
32	25	1800	48	
33	25	1800	49	
34	25	1800	50	
35	0	1800	51	
36	0	1800	51	
37	0	1800	50	
38	0	1800	48	
39	0	1800	45	
40	0	1800	40	
41	0	1800	35	
42	0	1800	30	
43	50	0	20	
44	50	0	21	
45	50	0	22	
46	50	0	23	
47	50	800	24	
48	50	800	26	
49	50	1200	28	

Tabulka 1: Měření teplotních limitů na řídicí jednotce

### Záznam z praktického měření teplotních limitů



Obrázek 32: Záznam z praktického měření teplotních limitů

Jak je z tab.1 a obr.32 patrné, pro měření byly nastaveny následující parametry :

- pro ventilátor :      minimální teplota = 23 °C  
                              optimální teplota = 26 °C  
                              maximální teplota = 29 °C
- pro světlo :            teplota pro snížení intenzity = 38 °C  
                              teplota vypnutí světla = 50 °C  
                              intenzita světla = 50 %

Po začátku měření se rozsvítí světlo na požadovanou intenzitu, teplota světla stoupá, ventilátor stojí. Jak teplota světla přesáhne minimální teplotu ventilátoru, nastaví se 800 otáček na ventilátoru. Pokud teplota přesáhne optimální teplotu ventilátoru, nastaví se 1200 otáček ventilátoru, po přesažení maximální teploty ventilátoru se nastaví maximální otáčky ventilátoru. Přesáhne li i při plných otáčkách ventilátoru teplota světla hranici pro snížení intenzity, klesne intenzita světla na polovinu nastavené hodnoty a pokud přesáhne teplotu pro vypnutí, dojde ke zhasnutí světla. Světlo se opět rozsvítí po poklesu teploty pod nejnižší nastavenou mez.

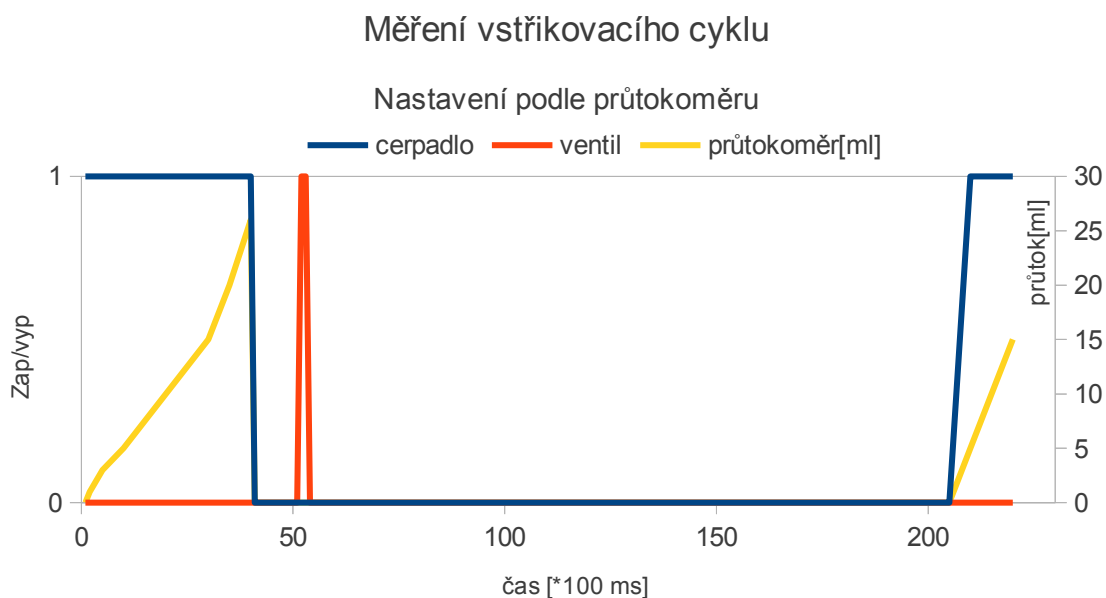
### Měření vstřikovacího cyklu :

Nastavené parametry :

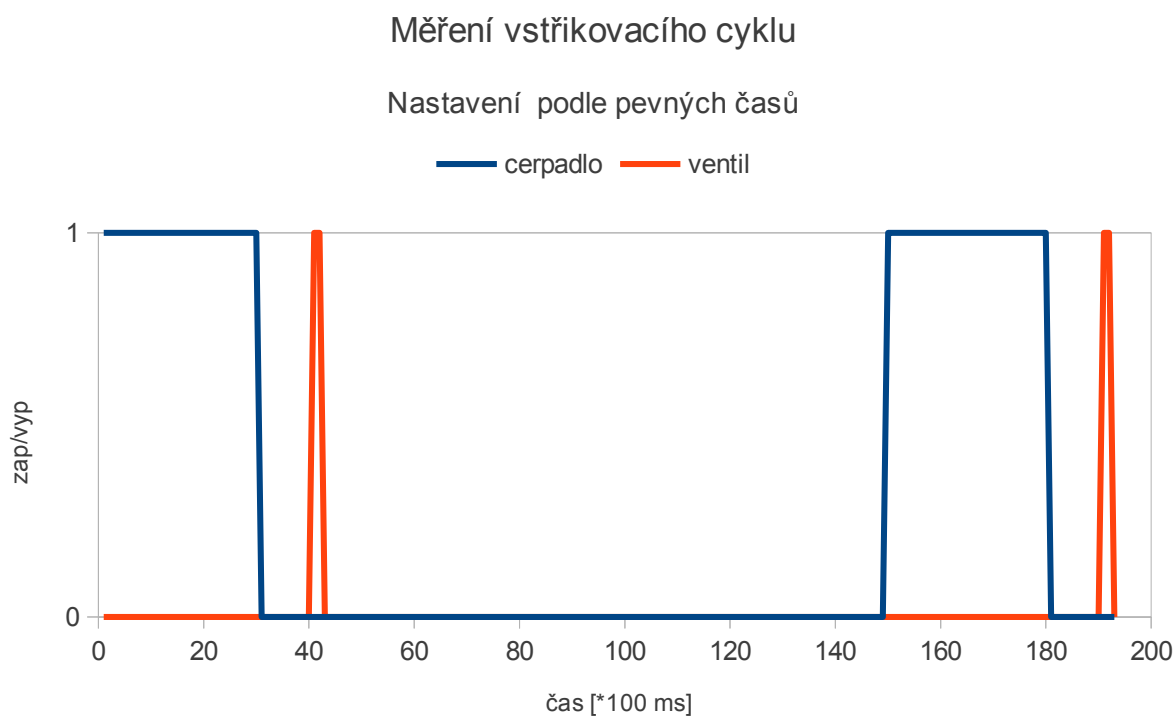
Čerpadlo zapnuté :	3 s
Ochranný interval:	1 s
Ventil otevřený:	0,1 s
Opakování cyklu po :	15 s
Objem roztoku :	25 ml

Vstřikovací cyklus může pracovat ve více režimech, podle toho, jak uživatel požaduje. Na obr. 33 je znázorněna situace, kdy bylo nastaveno dané množství roztoku měřeno průtokoměrem. Čerpadlo je sepnuto, dokud průtokoměr nezměří dané množství roztoku. Nebo je možné řídit čerpadlo fotobránou, kdy je čerpadlo sepnuté, dokud fotobrána nezaznamená průlet kapky, tzn. že vstřikovací potrubí je zcela zaplněné roztokem, tato situace je na obr. 35. Dále je možno nastavit pevné časy, kdy je čerpadlo sepnuto na předem pevně nastavenou dobu, což zachycuje obr.34. V poslední řadě lze nastavit všechny tři režimy naráz, kdy se čeká, která první podmínka přeruší chod čerpadla.

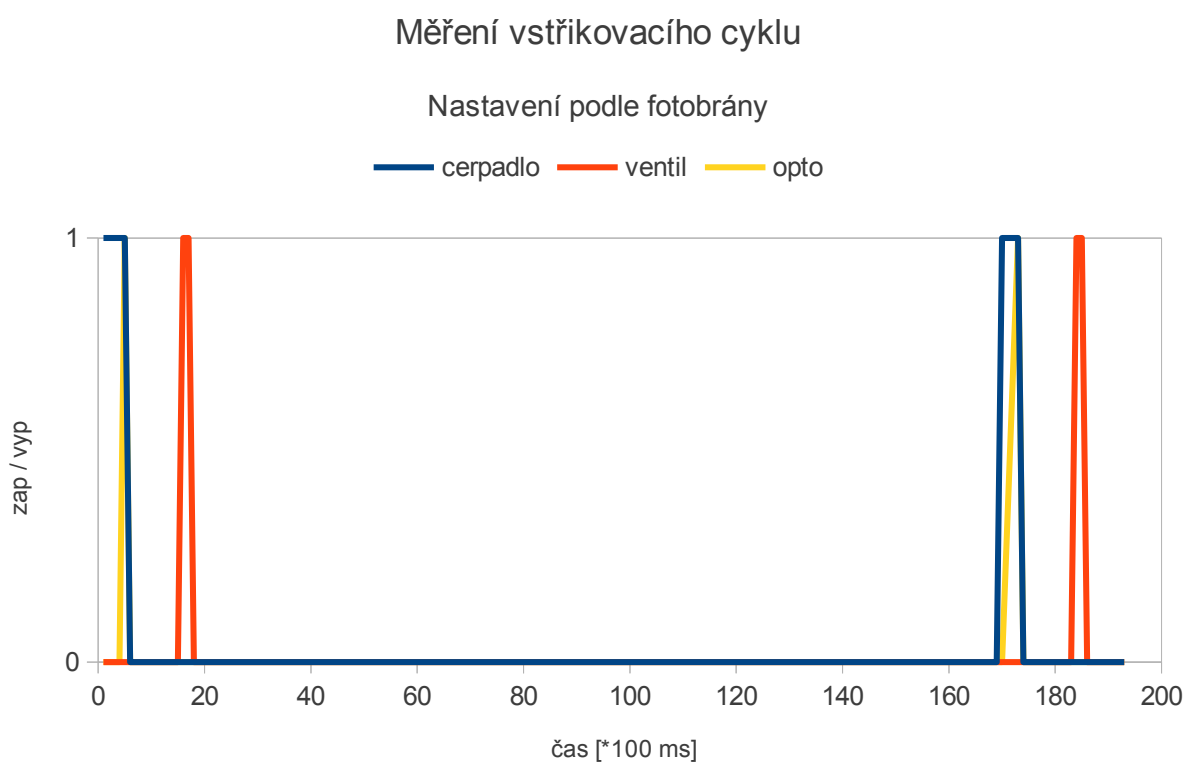
Na obr.36 je k vidění realizovaná řídicí jednotka a na obr. 37 realizovaný vstřikovací systém, který je dále na obr.38 a 39 zachycen v okamžiku zavlažení – mlhování.



Obrázek 33: Měření vstřikovacího cyklu podle průtokoměru

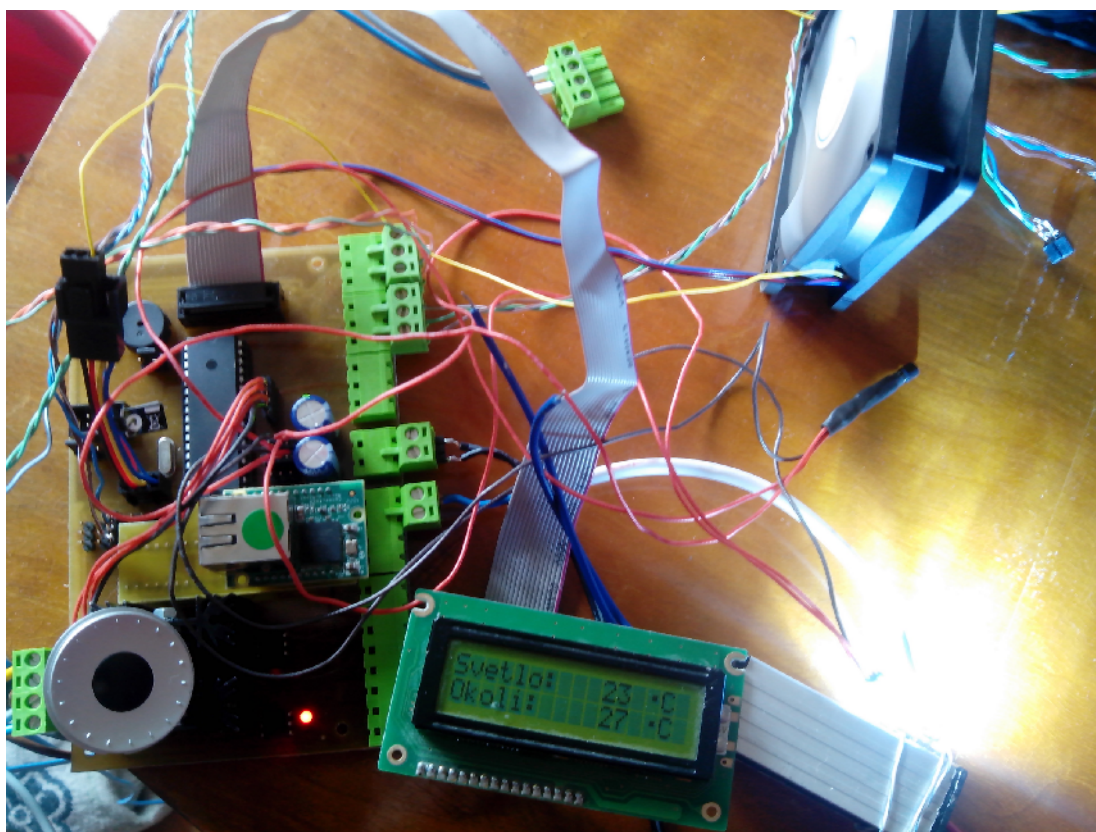


Obrázek 34: Měření vstřikovacího cyklu podle pevných časů

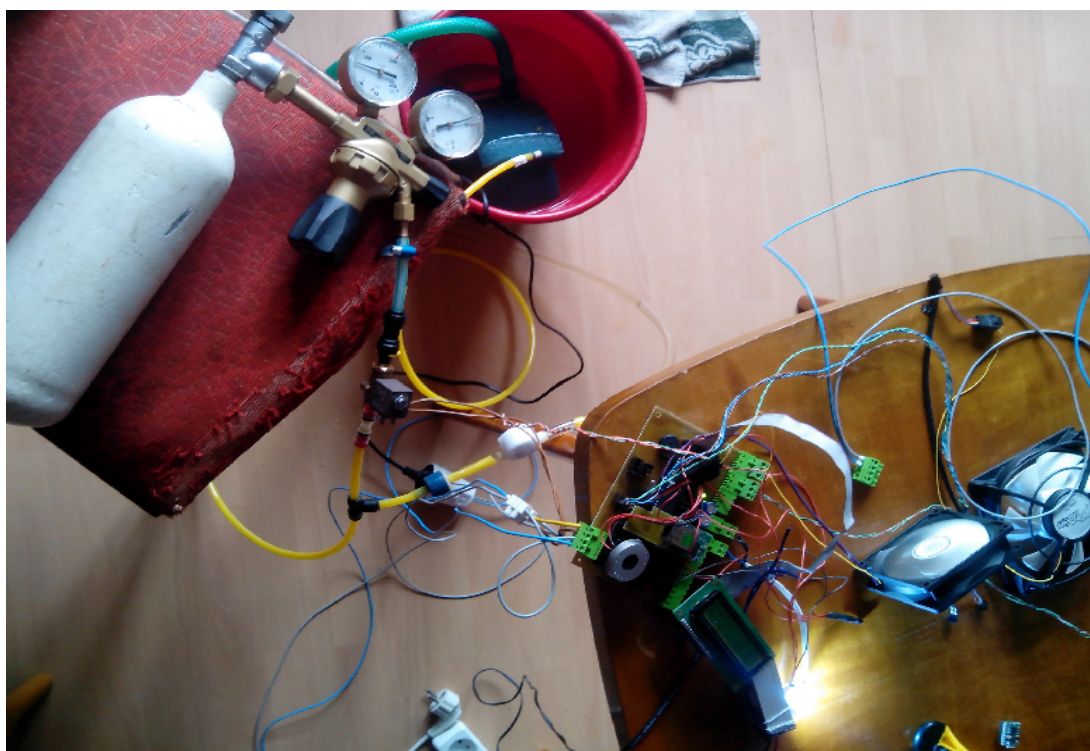


Obrázek 35: Měření vstřikovacího cyklu podle fotobrány





Obrázek 36: Fotografie realizované řídicí jednotky



Obrázek 37: Fotografie řídicí jednotky se vstřikovacím systémem



Obrázek 38: Fotografie v okamžiku zavlažení - mlhování 1



Obrázek 39: Fot. v okamžiku zavlažení - mlhování 2

## 5 ZÁVĚR

Tato práce představila historii pěstování rostlin bez půdního substrátu a také ukázala základní typy systémů používaných pro pěstování bez půdního substrátu. Dále nastínila možnost návrhu celého aeroponického systému typu TAG, u kterého se namísto běžně používaného vysokotlakého čerpadla využívá vysokotlakého vzduchového kompresoru. Navrhovaný systém byl realizován pro potřebu minimální spotřeby elektrické energie, proto byl navržen koncept s mikropočítačem ATmega16 a malým webovým serverem jako samostatným modulem.

Jednotka měla dle původního návrhu obstarávat i měření a regulaci pH, toho ovšem nebylo dosaženo, neboť drtivá většina běžně dostupných pH metrů nedisponuje datovým výstupem pro propojení měřáku s mikropočítačem. Tento problém měl být vyřešen optickou vazbou přes webkameru a následným vyhodnocením obrazu pomocí korelačního algoritmu. Tato vazba byla smýšlena pro realizaci řídicí jednotky pomocí běžného PC s dostatečným výpočetním výkonem, při volbě mikropočítače byla tato možnost z konceptu odebrána. Jako náhradní řešení se do budoucna uvažuje použití IP kamery a vyhodnocování obrazu pomocí algoritmu na vzdáleném serveru. Alespoň byl realizován blok řízeného dávkování pH regulační kapaliny pro ověření jeho použitelnosti do budoucna.



# Literatura

- [1] SALZER, E.H. *Pěstování rostlin bez půdy* ; SZN 1968
- [2] SPACE.PUSSY. *TAG: Pěstování pomocí opravdového Aerosolu* [online]. 2008 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://grower.cz/forum/showthread.php?s=&threadid=34662&perpage=16&pagenumber=1>
- [3] PAGLIARULO, Christopher a Anita HAYDEN. UNIVERSITY OF ARIZONA. *POTENTIAL FOR GREENHOUSE AEROPONIC CULTIVATION OF MEDICINAL ROOT CROPS* [online]. 2001 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://aerofarms.com/wordpress/wp-content/files\\_mf/1265411630GrowingMedicinalCropswithAeroponics.pdf](http://aerofarms.com/wordpress/wp-content/files_mf/1265411630GrowingMedicinalCropswithAeroponics.pdf)
- [4] MALÝ, Martin. REDAKCE HW SERVERU. *Sběrnice I-Wire™* [online]. 2004 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbernice-1-wiretm.html>
- [5] DALLAS SEMICONDUCTOR. *DS18B20* [online]. 2008 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- [6] VISHAY. *CNY70* [online]. 2009 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>
- [7] BIOTECH. *FCH-m-PP-LC* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/prutokomer-fch-mini-pp-biotech-0-015-0-8-1-min.k155374>
- [8] FREESCALE. *MPX5010* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPX5010.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5010.pdf)
- [9] CONNECTONE. *Nano SocketLAN™* [online]. 2009 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: [http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/05/Nano\\_Socket\\_LAN\\_DS.pdf](http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/05/Nano_Socket_LAN_DS.pdf)

## Seznam symbolů, veličin a zkratek

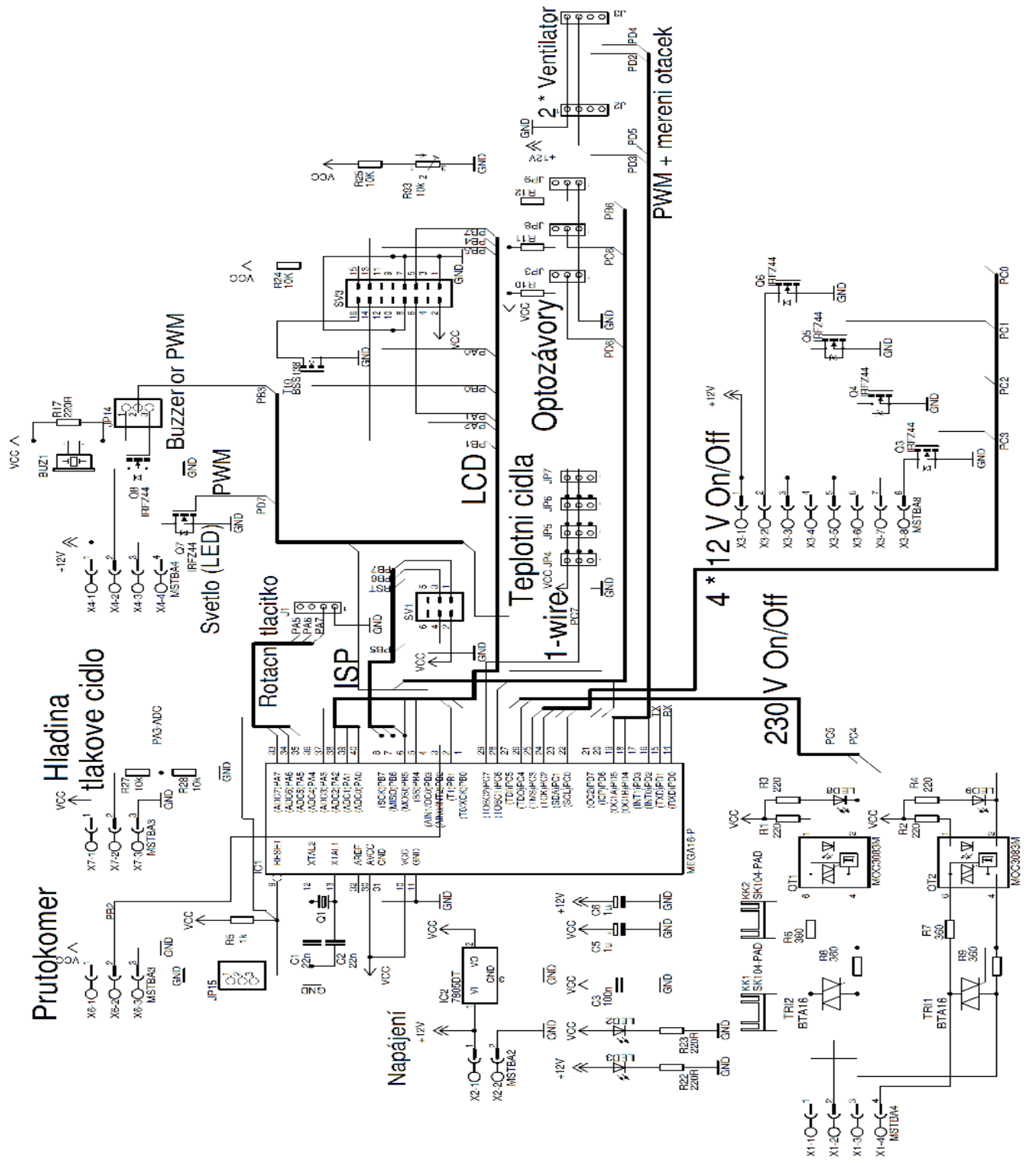
1-w	One wire bus
EC	Electric conductivity
kPa	kilo Pascal
l/h	litřů za hodinu
ms	milisekunda
μm	mikrometr
NFT	Nutrient Film Technique
pH	Potential of hydrogen
PWM	Pulse width modulation
TAG	True Aerosol Growing
V	Voltage

## Seznam příloh

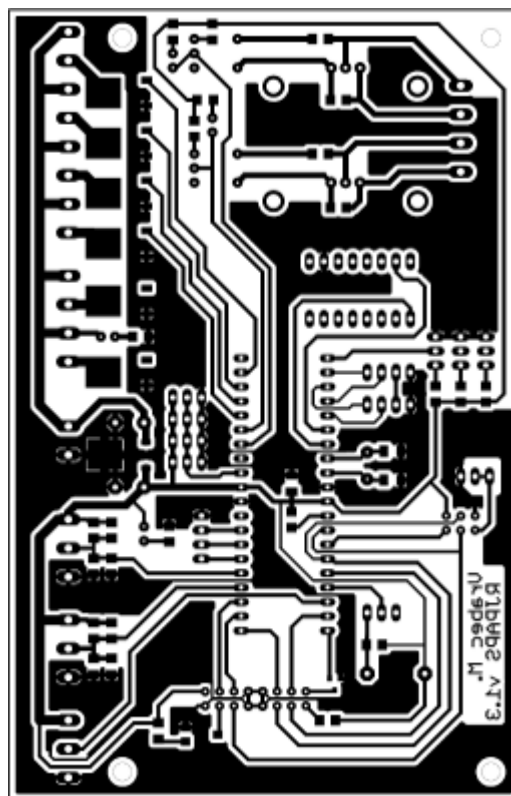
<b>ANávrh řídicí jednotky.....</b>	<b>46</b>
A.1 Schéma řídicí jednotky.....	46
A.2 Deska plošných spojů.....	47
A.3 Osazovací výkres – strana součástek.....	48
A.4 Osazovací výkres – strana spojů.....	48
A.5 Seznam součástek.....	49

# A NÁVRH ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

## A.1 Schéma řídicí jednotky



## A.2 Deska plošných spojů



Rozměr desky 90 x 140 [mm], měřítko M 1:1





## A.5 Seznam součástek

Název	Hodnota	Pouzdro	Množství
BUZ1	Bzucak	DOMACI	1
C1,C2	22n	C1206K	2
C3	100n	C1206K	1
C5,C6	1u/16V	E5-8,5	2
IC1	MEGA16-P	DIL40	1
IC2	7805DT	TO252	1
J1	ROTACNI TLACITKO	10X04MTA	1
J2,J3	2 * Ventilator	10X04MTA	2
JP3,JP8,JP9	3 * Optozavora	10X03MTA	3
JP4,JP5,JP6,JP7	4 * Teplotni cidlo	10X03MTA	4
JP14	bzucak x pwm	1X03	1
JP15	reset	1X03	1
KK1,KK2	Chladič	SK104-PAD	1
LED2,LED3	Green LED	LED3MM	2
LED8,LED9	Red LED	LED3MM	2
OT1,OT2	MOC3083M	DIL6M	2
Q1	11.0592 MHz	HC49U70	1
Q3 – Q8	IRFZ44	DDPAK	6
R10 – R12	120R	R1206	3
R1–R4,R17,R22,R23	220R	R1206	7
R6 – R9	360R	R1206	4
R5	1k	R1206	1
R24,R25,R27,R28	10K	R1206	4
R93	10k	RTRIMTS53YL	1
SV1	ISP	ML6	1
SV3	LCD	ML16	1
T10	BSS138	SOT23	1
TRI1	BTA16	TO-220S	1
TRI2	BTA16	TO-220S	1
X1	2 * 230 V On/Off	MSTBA4	1
X2	Napájení 12 V	MSTBA2	1
X3	4 * 12 V On/Off	MSTBA8	1
X4	2 * PWM	MSTBA4	1
X5	Free adc	MSTBA3	1
X6	Průtokoměr	MSTBA3	1
X7	Hladinoměr	MSTBA3	1